

# **Produção de tomate de indústria com elevada eficiência azotada**

**Inês Isabel Santos Pereira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Agronómica - Hortofruticultura e Viticultura**

Orientador: Professora Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil

**Júri:**

Presidente: Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutora Cristina Maria Moniz Simões Oliveira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## **Agradecimentos**

A todas as seguintes pessoas gostaria de prestar os meus sinceros agradecimentos:

À minha orientadora, Professora Cláudia Cordovil, pelas suas correções, sugestões e pela sua disponibilidade;

À D<sup>a</sup> Paula Gonçalves, por toda a orientação e ajuda no laboratório do ISA;

À Soraia Cruz, por todo o seu apoio na elaboração dos ensaios e por estar sempre disponível para me ajudar e orientar;

À minha família, por todos os valores que me ensinaram e por todo o incentivo desde o início deste percurso académico e, em especial aos meus Pais, pois a eles devo a minha educação e formação;

Ao João, por estar sempre ao meu lado com todo o carinho, amizade e compreensão.

## Resumo

A cultura de tomate é muito exigente em azoto. A resposta positiva da planta à fertilização azotada provoca um excesso de aplicação deste nutriente pela parte dos agricultores, provocando problemas graves no ambiente.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a produção de tomate de indústria (H1015 e H1886) com elevada eficiência azotada. Neste contexto, foram delineados dois ensaios experimentais: ensaio de fertilização e ensaio de fertilização com micorrizas. Apenas foi alterada cerca de 10% da fertilização total no primeiro ensaio e 26% no segundo ensaio, correspondendo à adubação de fundo realizada na pré-plantação.

Em ambos os ensaios, foram utilizados três tratamentos: sem azoto (N0), metade da dose convencional (N50) e fertilização convencional (N100). No ensaio de fertilização as quantidades utilizadas foram 0, 12,5 e 25 kg N/ha e no ensaio de fertilização com micorrizas foram 0, 30 e 60 kg N/ha.

Foram avaliadas características quantitativas e qualitativas como, teor em azoto total e mineral, número de frutos por planta, produtividade, exportação de N e vários parâmetros de qualidade do fruto.

Os resultados demonstraram que a dose de azoto afeta a concentração de azoto mineral no solo e o azoto total na folha. A maior exportação e produção foi obtida no tratamento com maior dose de fertilização, mas apesar disso, não foi significativamente diferente dos outros tratamentos, ou seja, não houve influencia da adubação de fundo na produtividade da cultura.

No ensaio com micorrizas, verificou-se que a utilização de micorrizas afetou a concentração de azoto mineral no solo, o azoto total nas folhas e o número de frutos. Nos parâmetros de qualidade do fruto, as micorrizas promoveram um aumento do teor em sólidos solúveis. Para além disso, os fungos parecem aumentar a absorção de azoto quando a sua disponibilidade no solo é mais baixa.

**PALAVRAS-CHAVE:** tomate de indústria, eficiência azotada, pegada do azoto, micorrizas

## **Abstract**

Tomato's crop is very demanding in nitrogen. The positive response of the plant to nitrogen fertilization causes an excess in the application by the farmers, causing serious problems to the environment.

The present study aimed to evaluate the production of processing tomatoes (Heinz 1015 and Heinz 1886) with high nitrogen efficiency. In this context, two field experiments were designed, one with different pre-plant nitrogen fertilization doses and another with mycorrhizae colonization in tomato plants were used to evaluate their efficiency in fertilization, also with different amounts of nitrogen. Only about 10% of total fertilization was changed in the first field and 26% in the second field, corresponding to the fertilization carried out in the pre-plantation.

In both experiments, three nitrogen treatments were used: no fertilization (N0), half of the conventional fertilization (N50) and conventional fertilization (N100). In the experiment of nitrogen fertilization, the doses of nitrogen used were 0, 12.5 and 25 kg N.ha<sup>-1</sup> and in the fertilization test with mycorrhizae they were 0, 30 and 60 kg N.ha<sup>-1</sup>.

Several measurements of growth and productivity parameters were performed, such as, total nitrogen and mineral nitrogen content, number of fruits per plant, yield, N uptake and quality parameters of the fruit.

The results showed that the nitrogen dose had significant effect on the concentration of mineral nitrogen in soil and nitrogen content in the leaf. The highest nitrogen uptake and yield was obtained in the treatment with the highest fertilization dose, but despite this, the results were not significantly different from the other treatments.

In the experiment with mycorrhizae, it was found that the use of mycorrhizae affected the mineral nitrogen concentration in soil, nitrogen content in leaves and the number of fruits. In the fruit quality parameters, mycorrhizae promoted an increase in the content of soluble solids. In addition, fungi appear to increase nitrogen uptake when their availability in soil is lowest.

**KEYWORDS:** processing tomato, nitrogen efficiency, nitrogen footprint, mycorrhiza

## Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Índice de figuras .....	vii
Índice de quadros .....	x
Lista de abreviaturas.....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Cultura de tomate de indústria.....	2
2.1.1. Importância económica .....	2
2.1.2. Morfologia .....	2
2.1.3. Exigências edafoclimáticas .....	3
2.1.4. Ciclo cultural .....	4
2.1.5. Preparação do terreno .....	4
2.1.6. Transplantação .....	4
2.1.7. Fertilização .....	5
2.1.8. Necessidades hídricas e rega .....	6
2.1.9. Parâmetros de qualidade do fruto .....	7
2.2. Azoto.....	9
2.2.1. Ciclo do azoto .....	9
2.2.2. Problema .....	10
2.2.3. Pegada de azoto.....	11
2.2.4. Eficiência na fertilização azotada .....	12
2.3. Micorrizas.....	14
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1. Localização dos ensaios .....	17
3.2. Caracterização do local .....	18

3.2.1. Clima .....	18
3.2.2. Solo .....	19
3.2.3. Água da rega .....	20
3.3. Modalidades.....	20
3.4. Monitorização dos ensaios .....	22
3.5. Tratamentos fitossanitárias.....	23
3.6. Fertilizantes .....	23
3.7. Análise estatística .....	24
3.8. Constrangimentos .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
4.1. Ensaio da Parcela A.....	25
4.1.1. Azoto total no solo .....	25
4.1.2. Azoto mineral no solo.....	26
4.1.3. Azoto total na planta .....	27
4.1.4. Azoto total no fruto.....	29
4.1.5. Número de frutos .....	30
4.1.6. Exportação de azoto .....	31
4.1.7. Produtividade.....	32
4.1.8. Parâmetros de qualidade do fruto .....	33
4.2. Ensaio da Parcela B.....	35
4.2.1. Azoto total no solo .....	35
4.2.2. Azoto mineral no solo.....	36
4.2.3. Azoto total na planta .....	37
4.2.4. Azoto total no fruto.....	38
4.2.5. Número de frutos .....	40
4.2.6. Exportação de azoto .....	41
4.2.7. Produtividade.....	42
4.2.8. Parâmetros de qualidade do fruto .....	43
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>

<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47
<b>ANEXOS</b> .....	56
Anexo I - Embalagem de micorrizas utilizada no ensaio B .....	57
Anexo II - Lista de produtos utilizados em tratamentos fitossanitários na Parcela A ...	58
Anexo III - Lista de produtos utilizados em tratamentos fitossanitários na Parcela B ..	59
Anexo IV – Apresentação dos resultados iniciais do projeto NEP na reunião científica “Open Day Tomate-Indústria CCTI”. Evento decorreu no Cartaxo no dia 26 de Novembro de 2018.....	60
Anexo V - Poster do projeto NEP apresentado na reunião científica “AGRO-Inovação 2019”. Evento decorreu no Cartaxo no dia 2 de Julho de 2019.....	62
Anexo VI - Abstrat submetido para a reunião científica “8th Conference of the International Nitrogen Initiative (INI 2020)”. Evento que irá decorrer em Berlim nos dias 3 a 7 de Maio de 2020 .....	63

## Índice de figuras

Figura 1 - Ciclo do azoto.....	9
Figura 2 - Balança em azoto em 2016 (OECD, 2019).....	11
Figura 3 – Pegada de Azoto na produção de alimentos, por ano per capita (Adaptado de Galloway et al., 2014). ....	12
Figura 4 - Simbiose entre planta e fungos (AM – Micorrizas arbusculares). ....	14
Figura 5 - Imagem aérea das parcelas do ensaio (Google Earth, 2019). ....	17
Figura 6 - Variação da temperatura (mínima, média e máxima) e da precipitação ao longo do ciclo da cultura. ....	18
Figura 7 - Campo de ensaio na Parcela A e na Parcela B. ....	21
Figura 8 – Monitorização de recolha de solo, planta e fruto. ....	22
Figura 9 – Gráfico com a evolução do teor de azoto total (g/kg) no solo ao longo do tempo .....	25
Figura 10 - Gráfico com a evolução do teor de azoto mineral (mg/kg) no solo ao longo do tempo.....	26
Figura 11 – Gráfico com os valores de azoto total (g/kg) na planta nos vários tempos28	
Figura 12 - Valores médios de azoto total (g/kg) no fruto (verde e vermelho) nos vários tempos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ....	29
Figura 13 - Número de frutos verdes e laranjas (não-comercializável) por planta. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=10$ . ....	30
Figura 14 - Número de frutos vermelhos (comercializável) por planta. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=10$ . ....	30
Figura 15 - Exportação de azoto (kg/ha). ....	31
Figura 16 - Produção final de frutos vermelhos (t/ha). Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=10$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ....	32
Figura 17 – Valores obtidos na avaliação dos parâmetros de qualidade: A - teor em sólidos solúveis (TSS), B - pH, C- cor; D - teor em licopenos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ....	33
Figura 18 - Variação de azoto total (g/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas	



com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). As letras maiúsculas comparam as modalidades com e sem micorrizas (comparação entre colunas com o mesmo padrão). As letras minúsculas comparam as modalidades com diferentes doses de fertilização (comparação entre colunas da mesma cor). ....	35
Figura 19 - Variação de azoto mineral (mg/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). As letras maiúsculas comparam as modalidades com e sem micorrizas (comparação entre colunas com o mesmo padrão). As letras minúsculas comparam as modalidades com diferentes doses de fertilização (comparação entre colunas da mesma cor). ....	36
Figura 20 - Variação do azoto total (g/kg) na planta nos vários tempos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). As letras maiúsculas comparam as modalidades com e sem micorrizas (comparação entre colunas com o mesmo padrão). As letras minúsculas comparam as modalidades com diferentes doses de fertilização (comparação entre colunas da mesma cor). ....	38
Figura 21 - Quantidade de azoto total (g/kg) em frutos verdes. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . ....	39
Figura 22 - Quantidade de azoto total (g/kg) em frutos vermelhos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . ....	39
Figura 23 – Número de frutos vermelhos (comercializável) por planta. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=10$ . ....	40
Figura 24 – Número de frutos verdes e laranjas (não-comercializável) por planta. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=10$ . ....	40
Figura 25 - Exportação de azoto (kg/ha). ....	41
Figura 26 - Produção final de frutos vermelhos (t/ha). Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=10$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ....	42
Figura 27 - Valores obtidos de teor em sólidos solúveis (TSS). Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ....	43
Figura 28 - Valores obtidos no parâmetro de cor (a/b). Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ....	44
Figura 29 - Valores obtidos de teor em licopenos (mg/g). Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ....	44

Figura 30 - Valores obtidos no parâmetro pH. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). ..... 45

## Índice de quadros

Quadro 1 - Área e produção de tomate dos principais países produtores da Europa no ano de 2016, 2017 e 2018 (EUROSTAT, 2019).....	2
Quadro 2 - Macronutrientes recomendados para a cultura do tomate (Adaptado de INIAP, 2006). .....	5
Quadro 3 - Extração média de nutrientes em diferentes fases do ciclo cultural do tomate de indústria (Machado, 1993 in Almeida, 2006). .....	6
Quadro 4 - Caracterização do solo em cada parcela de ensaio. ....	19
Quadro 5 - Caracterização da água de rega em cada parcela. ....	20
Quadro 6 - Adubos utilizados para a fertilização de fundo. ....	21
Quadro 7 - Adubos aplicados no ensaio A e as respectivas unidades de azoto. ....	23
Quadro 8 - Adubos aplicados no ensaio B e as respectivas unidades de azoto. ....	24
Quadro 9 – Valores de azoto total (g/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). .....	26
Quadro 10 - Valores de azoto total (g/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). .....	27
Quadro 11 - Valores de azoto total (g/kg) na planta nos vários tempos. Os valores representam médias $\pm$ desvio padrão $n=3$ . Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). .....	28

## **Lista de abreviaturas**

N – Azoto

TSS – Teor em Sólidos Solúveis

MO – Matéria Orgânica

C:N – Razão Carbono/Azoto

DAT – Dias após transplantação

## 1. INTRODUÇÃO

O azoto (N) é o principal nutriente fornecido às plantas através da fertilização, pois é indispensável para o seu metabolismo e crescimento. Com a esperança de aumentar os rendimentos das produções, os agricultores aplicam grandes quantidades de adubos azotados e, na maior parte das vezes, provoca uma saturação do nutriente e não acrescenta nenhum aumento à produção.

Esse uso exagerado de azoto, tem vários impactos negativos no ambiente, como as chuvas ácidas, a acidificação dos solos, a poluição e a eutrofização das águas, e consequentemente na saúde humana. Por estes motivos, torna-se fundamental encontrar e testar soluções para contrariar o excesso de utilização deste nutriente na agricultura.

Deste modo, um dos objetivos deste estudo foi avaliar a produção de um novo produto com elevada eficiência azotada, diminuindo a quantidade de azoto aplicada. Foi escolhida a cultura de tomate de indústria por ser a hortícola de maior importância económica em Portugal. Ao otimizar o uso deste nutriente, será possível diminuir os custos da conta da cultura e melhorar o rendimento dos agricultores.

Este estudo pretende que a produção de tomate de indústria seja realizada com a preocupação assimilada de mitigar as emissões de azoto durante o seu processo produtivo, de modo a diminuir a pegada do azoto e diminuir as perdas por lixiviação. Para isso, serão testadas novas práticas agrícolas, como a alteração da fertilização azotada, e implementadas inovações tecnológicas, como a utilização de plantas com micorrizas.

A realização desta dissertação está inserida no projeto NEP – high Nitrogen Efficient crop Production for better water management, um grupo operacional PDR2020 do qual o Instituto Superior de Agronomia é líder na parceria conjunta com 3 empresas e associações ligadas ao sector de tomate de indústria.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Cultura de tomate de indústria

#### 2.1.1. Importância económica

A cultura do tomate é a principal cultura hortícola para consumo em fresco e a principal cultura horto-industrial em Portugal. O sucesso desta cultura resulta do conjunto entre condições climáticas ideais e dos solos favoráveis à qualidade do fruto. A principal região localiza-se no Ribatejo, com cerca de 80% da produção. Portugal ocupa o 15º lugar de maior produtor mundial e o 3º de produtor europeu, sendo líder em altos rendimentos (FAOSTAT, 2017).

Quadro 1 - Área e produção de tomate dos principais países produtores da Europa no ano de 2016, 2017 e 2018 (EUROSTAT, 2019).

País	2016		2017		2018	
	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)	Área (1000 ha)	Produção (1000 t)
Itália	78,59	5458,45	75,54	5075,12	-	-
Espanha	35,06	2841,23	34,62	3001,37	31,14	2708,84
Portugal	19,48	1598,40	19,55	1650,43	14,47	1226,11

Em 2018, a área instalada sofreu uma redução significativa (-26%), passando de 19,6 mil hectares para 14,5 mil hectares. Na campanha de 2017, houve grandes prejuízos provocados por ataques de mosca branca e ácaros, que levou ao abandono da cultura por parte de alguns produtores (INE, 2019).

#### 2.1.2. Morfologia

O tomateiro (*Lycopersicum esculentum*) é uma planta herbácea e perene mas cultivada como anual. Em plantas transplantadas, o seu sistema radicular é superficial, com raízes predominantemente laterais e adventícias. As plantas podem apresentar um porte ereto ou semiprostrado e podem atingir entre 0,5 e 2 m de altura. As suas folhas são alternas, compostas e imparipinuladas, contendo 7 a 9 folíolos pubescentes.

Relativamente ao crescimento da planta, pode dividir-se em dois grupos: cultivares de crescimento determinado e indeterminado. Em horto-indústria são utilizadas cultivares de crescimento determinado, com um período limitado de floração,

seguido de um período de maturação dos frutos. As inflorescências são cimeiras bíparas, que se diferenciam no meristema apical do caule, cada uma composta por 5 a 12 flores. As flores são hermafroditas, actinomórficas e de corola amarela. A sua polinização é maioritariamente autogâmica, sendo auxiliada por insetos.

O fruto resultante é uma baga plurilocular, com o peso a variar entre 5 a 500g, cujo formato poder ser, redondo, piriforme ou alongado, e a cor pode variar entre amarelo, laranja ou vermelho. As sementes estão inseridas no tecido locular que deriva da placenta do fruto (Almeida, 2006).

Em relação à sua constituição, os tomates contribuem para uma dieta saudável e equilibrada, pois são ricos em minerais, vitaminas, aminoácidos e fibras. Também contêm vitamina B e C, ferro e fósforo (Naika et al., 2005).

### **2.1.3. Exigências edafoclimáticas**

O tomate é uma cultura de época quente, exigente em temperatura e sensível à geada. A cultura ao ar livre pode ser efetuada em regiões com uma temperatura média superior a 16°C e que tenham um período livre de geadas superior a 110 dias. Abaixo dos 16°C o crescimento vegetativo é muito reduzido e temperaturas inferiores a 6°C provocam graves danos à planta. Temperaturas acima dos 30°C prejudicam a qualidade do fruto.

Para o início da floração não existem temperaturas particulares, mas a diferenciação floral é favorecida por termoperíodos diários de 10 °C. Se a temperatura se mantiver entre os 18 e 25 °C, o pólen é viável durante 2 a 5 dias. No caso de temperaturas abaixo de 10 °C e acima de 37 °C a polinização é deficiente e o tubo polínico não fecunda os óvulos, ocorrendo aborto floral. O vingamento dos frutos é favorecido com temperaturas médias entre 18 e 24°C, sendo as temperaturas noturnas mais críticas para o vingamento. O tomateiro é uma cultura muito exigente em quantidade de luz, sendo que a intensidade luminosa mínima para a floração e vingamento dos frutos é de 0,85 MJ.m<sup>-2</sup>. (Almeida, 2006).

A nível de exigências edáficas, o tomateiro requer solos com capacidade de retenção de água elevada, arejados e bem drenados. A planta prefere solos arenosos e profundos, mas solos mais pesados também podem ser altamente produtivos em condições de boa gestão. O tomate é intolerante à compactação do solo e ao encharcamento de água, portanto, é necessário que a camada do solo de 20 cm seja permeável (Steduto et al., 2012).

A planta é tolerante à salinidade, com um nível crítico de 2,5 dS.m<sup>-1</sup>. Os valores de pH ajustados para a cultura variam no intervalo de 5,5 a 7 (Almeida, 2006).

#### **2.1.4. Ciclo cultural**

O ciclo cultural do tomate de indústria varia de 90 a 120 dias, sendo que cada cultivar é classificada de acordo com o seu ciclo de maturação: ciclo precoce, médio ou tardio. Normalmente iniciam-se as plantações na última semana de Março, decorrendo até meados de Junho, começando a colheita em meados de Julho e terminando em meados de Outubro.

#### **2.1.5. Preparação do terreno**

A preparação do solo é fundamental para o sucesso da cultura. O objetivo principal é obter um perfil, em profundidade, onde não haja restrições ao nível do desenvolvimento físico das raízes e de modo a obter um terreno com bom arejamento.

Para começar efectua-se uma lavoura (35-40cm), aproveitando para incorporar alguns corretivos orgânicos ou minerais. Depois disto, é realizada uma mobilização superficial (gradagem ou escarificação) de modo a desfazer os torrões e a nivelar o terreno. Por fim, o terreno deverá ser armado em faixas com 1,52 m, designadas por camalhões, com o objetivo de se obter regos profundos para garantir a drenagem do solo (Almeida, 2006).

#### **2.1.6. Transplantação**

A cultura de tomate de indústria é instalada por transplantação com raiz protegida. Os transplantes são produzidos em placas alveoladas com um volume de substrato muito reduzido e são geralmente transplantados jovens, com cerca de 12 a 15 cm de altura e 4 folhas verdadeiras (Almeida, 2006).

As densidades utilizadas variam consoante as características da parcela. Em solos férteis e abundantes em água, podem ser plantadas 70 000 plantas/ha e em solos pobres e secos, apenas 30 000 plantas/ha (Almeida, 2006).



Normalmente, a densidade utilizada pelos agricultores no Ribatejo é entre 32 e 36 mil plantas/ha com uma distância entre plantas na linha de 20 cm. Para este processo são utilizadas máquinas transplantadoras manuais ou automáticas.

### 2.1.7. Fertilização

A fertilização recomendada é estabelecida com base no potencial produtivo e nas exigências da cultura, assim como no teor de nutrientes e características físicas e químicas do solo. É importante gerir a quantidade de nutrientes fornecida à cultura, de modo a otimizar o lucro, a qualidade da produção e a proteção ambiental.

Os elementos mais importantes são os macronutrientes principais (N, P e K) pois são absorvidos em grandes quantidades pelas plantas e normalmente não existem em quantidades suficientes no solo, sendo necessário aplicá-los sob a forma de fertilizantes. No caso do tomate, para além das necessidades em macronutrientes principais, apresenta elevada sensibilidade às carências de cálcio e magnésio.

A aplicação de azoto deve ser fracionada, aplicando cerca de metade a um terço na instalação e as restantes aplicações via fertirrega, com duas coberturas no início da floração e a segunda na maturação dos primeiros frutos (INIAP, 2006).

No Quadro 2 encontra-se a recomendação de fertilização para cada nutriente dependendo da produção esperada e da classe de fertilidade para cada nutriente.

Quadro 2 - Macronutrientes recomendados para a cultura do tomate (Adaptado de INIAP, 2006).

Produção esperada (t/ha)	Azoto (kg/ha)	Fósforo (kg/ha) – níveis do solo						Potássio (kg/ha) – níveis do solo					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<b>80</b>	200	220	180	150	120	90	80	260	220	180	130	100	80
<b>90</b>	220	240	200	170	140	100	90	280	240	200	150	120	100
<b>100</b>	240	250	210	180	150	110	100	290	250	210	160	130	120
<b>120</b>	280	260	220	190	160	120	110	300	260	220	170	140	130

Ao longo do ciclo da cultura, a extração de nutrientes pela cultura vai sendo diferente, sendo que é necessário ter em atenção nas fases mais vulneráveis. No Quadro 3 apresenta-se a variação das necessidades em macronutrientes principais ao longo do ciclo do tomate.

Quadro 3 - Extração média de nutrientes em diferentes fases do ciclo cultural do tomate de indústria  
(Machado, 1993 in Almeida, 2006).

Fase vegetativa	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Plantação – início floração	8	6	6
Floração – 1º fruto	18	16	23
1º fruto – início maturação	30	25	19
Maturação – fim do ciclo	44	53	52

### 2.1.8. Necessidades hídricas e rega

As culturas hortícolas têm grandes necessidades hídricas devido ao seu sistema radicular superficial e por serem muito sensíveis ao stress hídrico. Apesar disso, a quantidade de água aplicada na cultura é frequentemente muito maior do que esta necessita, provocando um impacto significativo ao nível dos nitratos do solo (Cameira & Mota, 2017).

No tomateiro, as fases mais críticas são a floração e o vingamento dos frutos, pois o défice hídrico provoca uma diminuição do número de frutos. A falta de água na fase de crescimento e maturação dos frutos, provoca uma redução do seu peso, mas aumenta o teor em sólidos solúveis. Um ligeiro défice hídrico (85% da evapotranspiração cultural) é recomendável, pois permite um bom equilíbrio entre a produtividade e a qualidade (Almeida, 2006).

A evapotranspiração cultural é calculada multiplicando a evapotranspiração de referência ( $ET_0$  – evapotranspiração de uma cultura de referência), pelo coeficiente cultural ( $K_c$ ), específico para cada cultura. Este valor varia ao longo do período vegetativo, à medida que a cultura cresce e desenvolve. Para o tomate, o coeficiente cultural na fase inicial é de 0,6, na fase de desenvolvimento entre 1,15 e 1,20 e na fase final entre 0,7 e 0,9 (Pereira, 2004).

As necessidades hídricas totais para a cultura do tomate, em clima mediterrâneo, situam-se entre 4000-6000 m<sup>3</sup>/ha (Almeida, 2006; Steduto et al., 2012).

É frequente terminar o fornecimento de água duas a quatro semanas antes da colheita, com o objetivo de aumentar os sólidos solúveis do fruto, reduzir os frutos pobres e diminuir a compactação do solo pela água (para facilitar as operações mecânicas) (Hartz et al., 2008).

### **2.1.9. Parâmetros de qualidade do fruto**

O tomate para indústria destina-se principalmente ao fabrico de concentrado-base, que serve posteriormente para a produção de molhos, *ketchup* e conservas enlatadas.

Esta variedade de produtos torna-se possível graças a uma matéria-prima de alta qualidade, e para isso, existe uma série de requisitos que o fruto deve possuir para facilitar a sua colheita mecânica e mais tarde o seu processamento industrial. Entre eles, o amadurecimento do fruto, o desprendimento do pedúnculo, consistência e outras características dos frutos, como cor, tamanho e peso dos frutos, bem como a resistência a doenças.

No tomate destinado ao processamento, as características externas como a forma, a cor e o tamanho são importantes, no entanto, outros parâmetros relacionados com a qualidade interna têm ainda maior importância, como a acidez, teor em sólidos solúveis e matéria seca (Calvo et al., 2008).

#### **Cor**

A cor do tomate é uma característica de qualidade muito importante, pois determina a maturação e o tempo de vida pós-colheita. A cor do fruto maduro deve ser vermelho intenso e uniforme. Os valores normais situam-se entre 2,2 e 2,5 (a/b) (Calvo et al., 2008).

#### **Teor de sólidos solúveis**

Este índice indica a quantidade de compostos solúveis (açúcares) no fruto, medidos através de uma escala °Brix. Este parâmetro influencia muito o rendimento do processamento na fábrica, pois essa concentração tem de ser aumentada para os limites requeridos pela legislação para os produtos concentrados.

A maior parte das variedades utilizadas apresentam valores entre 4,5 e 5,5° Brix, sendo que existem fatores externos que podem prejudicar, como é o caso das condições climáticas e a rega durante o período de maturação (Calvo et al., 2008).

## **pH**

O pH indica a acidez do fruto. Normalmente situa-se entre 4,2 e 4,4 e assim, assegura a estabilidade microbiológica do sumo do tomate durante o processamento, pois os valores baixos de pH são pouco atrativos para as contaminações microbianas.

Em casos em que o valor do pH seja superior, podem ocorrer problemas, sendo que é necessário acidificar o sumo (Calvo et al., 2008).

## **Licopeno**

O licopeno é um pigmento vegetal (carotenoide) responsável pela cor vermelha característica dos tomates. Possui propriedades antioxidantes e protege as células do corpo do stress oxidativo produzido pelos radicais livres. O seu teor aumenta com a maturação e pode apresentar grandes variações conforme cada variedade e o tipo de solo. O clima também é um fator importante, pois temperaturas elevadas prejudicam a formação deste carotenoide. (Calvo et al., 2008)

A pele constitui aproximadamente cinco vezes mais licopeno que a polpa, no entanto, a pele é descartada na indústria. A concentração deste carotenoide na pele pode atingir 50 mg/kg (Shi et al., 2007).

## 2.2. Azoto

### 2.2.1. Ciclo do azoto

O azoto é um dos elementos químicos mais importantes na Terra, sendo essencial nos sistemas biológicos, tanto terrestres como aquáticos (Jensen & Ward, 2014). Este elemento é um fator limitante na produção agrícola, pois é necessário para o metabolismo das plantas, sendo que aumenta a eficiência da fotossíntese e a produção de hidratos de carbono (Erisman, 2011).

O ciclo do azoto é um conjunto de processos pelos quais o azoto circula entre as plantas, solo, água, ar e seres vivos. Cerca de 78% da atmosfera é constituída por azoto não reativo ( $N_2$ ), mas esta forma não é utilizada pela maior parte dos seres vivos, apenas as bactérias, cianobactérias e os fungos é que conseguem fixar este azoto (Figura 1).

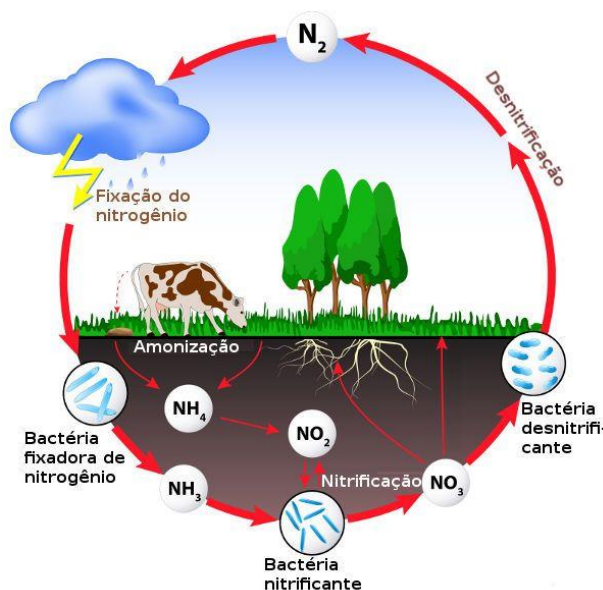


Figura 1 - Ciclo do azoto

Estes seres transformam o azoto não reativo em amoníaco, posteriormente outras bactérias transformam o amoníaco em nitrato através do processo de nitrificação. Por fim, o ciclo termina com bactérias que realizam um processo de desnitrificação, formando em azoto molecular ( $N_2$ ) (Pegada do Azoto, 2016). O ciclo do azoto tem sido muito alterado pelas atividades humanas e de todos os ciclos biogeoquímicos do nosso planeta, é o mais prejudicado pelo homem (Fowler et al., 2013).

O excesso de azoto no ambiente poderá ser um problema grave, devido à sua grande mobilidade, principalmente de azoto reativo ( $N_r$ ), como o óxido de azoto ( $NO_x$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), amoníaco ( $NH_3$ ) e amoníaco ( $NH_4^+$ ). Todas estas

formas possuem elevada mobilidade, sendo capazes de se propagarem com efeito cascata no ar, água e nos ecossistemas terrestres, provocando impactos negativos na saúde humana, na biodiversidade e nas alterações climáticas. No final da cascata, o azoto reativo é convertido em azoto não reativo ( $N_2$ ), contudo, a produção de azoto reativo é superior à conversão para azoto não reativo, o que leva à acumulação deste no ambiente (Erisman et al., 2013)

### **2.2.2. Problema**

A agricultura é uma das maiores atividades responsável pela poluição do ambiente, devido à utilização exagerada de azoto. As diversas utilizações deste nutriente têm consequências, como as chuvas ácidas, acidificação dos solos e eutrofização (Butterback-Bahl & Gundersen, 2011; Erisman, 2011).

Devido ao aumento da população nas últimas décadas, houve necessidade de industrializar a produção de alimentos e de aumentar drasticamente a rentabilidade das culturas. Estima-se que quase metade da população mundial irá depender de fertilizações azotadas para a sua alimentação, até ao final do século XXI (Erisman et al., 2008).

Com o aparecimento dos fertilizantes sintéticos obtidos industrialmente a partir do processo *Haber-Bosch* e com os preços baixos, levou ao uso excessivo de azoto e por consequência, grandes perdas para o ambiente (Erisman, 2011).

Para além disso, a resposta positiva no rendimento da planta ao aumento da utilização dos adubos azotados, incentivou a aplicação excessiva, pois era mais viável economicamente (Goulding et al., 2008).

Contudo, a aplicação de doses excessivas de azoto, associada à sua elevada mobilidade no sistema solo-planta-atmosfera, pode também traduzir-se em prejuízos económicos que resultam do facto do valor da produção não aumentar de forma proporcional ao azoto aplicado como fertilizante, atingindo-se um ponto, que é comum designar de “ótimo económico”, a partir do qual possíveis acréscimos na produção não cobrem os gastos com o excesso de fertilizante aplicado (Rodrigues & Coutinho, 2000).

A aplicação excessiva de azoto conduz a um desequilíbrio, pois as plantas não conseguem absorver todo o azoto que foi aplicado (Erisman, 2011). O aumento da sua deposição provoca um conceito denominado “saturação de azoto” (Butterback-Bahl & Gundersen, 2011).

Na Figura 2, está apresentado a balança em azoto no ano 2016, que nos fornece informações sobre as tensões ambientais em alguns países. Um déficit de nutrientes (valor negativo) indica uma diminuição na fertilidade do solo. Um excedente de nutrientes (valor positivo) indica que existe risco de poluição do solo, água e ar. Este equilíbrio é definido com a diferença entre as entradas de nutrientes (principalmente fertilizantes) e as saídas de nutrientes (a exportação de nutrientes para a produção agrícola no sistema agrícola) (OECD, 2019).

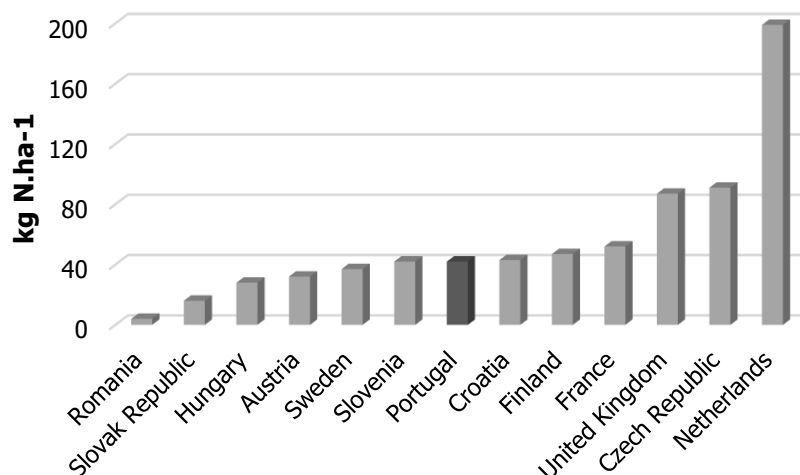


Figura 2 - Balança em azoto em 2016 (OECD, 2019).

### 2.2.3. Pegada de azoto

Devido as consequências negativas provocadas pelo uso excessivo de azoto, existiu a necessidade de ser criado um indicador para sensibilizar a população e aumentar o conhecimento sobre o problema, tendo surgido o conceito *Pegada do Azoto*. A diminuição individual da pegada, irá diminuir globalmente a quantidade de azoto reativo no ambiente. A produção agrícola em modo *Baixa Pegada do Azoto* é uma excelente medida na resolução do problema de excesso de azoto no ambiente e melhorar a saúde pública (Pegada do Azoto, 2016).

Segundo Leach et al. (2012), a *Pegada do Azoto* pode ser definida através de um modelo "*N-Calculator*" que é definido pelo total de azoto reativo libertado para o ambiente através dos hábitos de consumo de alimentação e energia de cada indivíduo. Este modelo engloba sectores como a alimentação, habitação, transporte, bens e

serviços. A agricultura insere-se no sector da alimentação, na produção dos alimentos, onde estão incluídas as perdas de azoto reativo para o sistema através dos adubos.

Portugal tem uma *Pegada do Azoto* de 17 Kg N por ano per capita, com valores iguais a países como Reino Unido e Alemanha, mesmo como se pode observar na Figura 3.

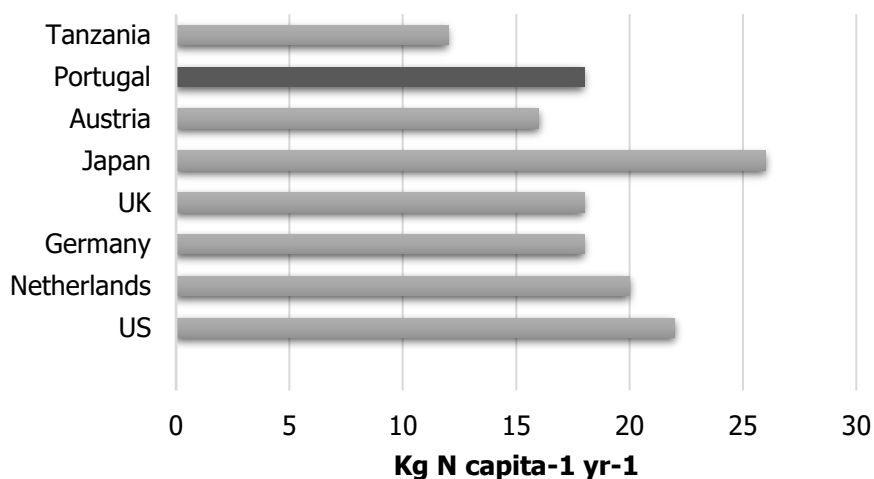


Figura 3 – Pegada de Azoto na produção de alimentos, por ano per capita (Adaptado de Galloway et al., 2014).

#### 2.2.4. Eficiência na fertilização azotada

A disponibilidade de azoto é um fator essencial que garante o desenvolvimento vegetativo, aumenta o rendimento e fornece ótimas qualidades para o processamento do tomate para indústria. A fertilização deve ser equilibrada de maneira a não ocorrer saturação. Todavia, os produtores de tomate, tendem a aplicar demasiado fertilizante com a expectativa de aumentar proporcionalmente a produção, sendo que os efeitos desse acréscimo não são normalmente visíveis a curto prazo (Tei et al., 2015).

De todo o azoto aplicado nem todo é recuperado pelas culturas. A percentagem de azoto recuperado por uma dada cultura é definida como “eficiência de utilização do azoto”. A eficiência com que as plantas utilizam os nutrientes diminui, geralmente, à medida que as quantidades aplicadas aumentam (Rodrigues & Coutinho, 2000).

O uso eficiente de azoto é composto pela eficiência na exportação de N, que representa a capacidade da planta em utilizar o nutriente para produzir biomassa. É crucial que essa eficiência seja otimizada em todo o mundo, por razões ambientais e económicas (Fowler et al., 2015).



Uma estratégia para melhorar a aplicação o azoto, é o fornecimento do nutriente nas quantidades realmente necessárias ao longo do ciclo da cultura. Uma determinada quantidade de azoto pode estar em défice ou um excesso, dependendo da fase em que a planta se encontra. Para o manuseamento deste elemento é necessário conhecimento da parte do agricultor, porque pode prejudicar gravemente a produção (Jarvis, 2011).

Elia & Conversa (2012), verificaram que, em aplicações azotadas de 0, 100, 200 e 300 kg N/ha, foi observado uma maior eficiência no uso de N na modalidade 200 kg N/ha, onde se verificou um equilíbrio entre a fase vegetativa e reprodutiva, resultando numa maior exportação de azoto. Na modalidade 300kg N/ha, houve uma diminuição na produção e na capacidade da planta em converter o azoto mineral. Neste caso, a eficiência azotada diminuiu com o aumento da fertilização.

Segundo Goulding (2000), para uma melhor gestão do uso do azoto em culturas hortícolas, existem alguns princípios que devem ser seguidos:

- Escolher variedades de maior rendimento, de maneira a maximizar o uso do nutriente;
- Manter uma cobertura verde no solo, utilizando uma cultura de cobertura para reter o azoto;
- Realizar análises aos nutrientes do solo (regularmente);
- Utilizar cal para manter o pH apropriado para a absorção dos nutrientes;
- Calcular a necessidade em nutrientes, utilizando uma recomendação de fertilização;
- Evitar aplicações desnecessárias de azoto no outono e no início da primavera;
- Aplicar os adubos, apenas quando a cultura está implantada no solo;
- Aplicar os fertilizantes e adubos de maneira uniforme e afastados dos cursos de água;
- Irrigar com moderação.

Jarvis (2011) reforça que os agricultores devem-se focar num equilíbrio entre produção, qualidade do produto, impacto ambiental e gestão agrícola, em vez de se preocuparem exclusivamente na produtividade dos seus campos agrícolas. Esse equilíbrio ajuda no aumento da eficiência de uso do azoto.

## 2.3. Micorrizas

As micorrizas arbusculares são uma associação mutualística do tipo simbiótico entre as plantas, mais especificamente as suas raízes, e os fungos. Os fungos produzem hifas que conseguem penetrar nas células internas da raiz, através das quais se processam as trocas de elementos e compostos entre o fungo e o hospedeiro. No exterior, produzem micélios que se propagam por vários centímetros a partir da superfície da raiz, proporcionando um aumento do volume de exploração de solo pela planta (Carvalho et al., 2017).

As plantas micorrizadas conseguem exportar nutrientes do solo, através de duas vias: exportação direta através de células e pelos da epiderme da sua raiz e exportação através dos fungos (Figura 4). As duas vias são potencialmente independentes porque envolvem a captação de nutrientes de diferentes locais do solo (Smith & Smith, 2012). Estes fungos utilizam mecanismos como a expansão da área de absorção e a mineralização de N a partir de formas orgânicas (Reynolds et al., 2005).

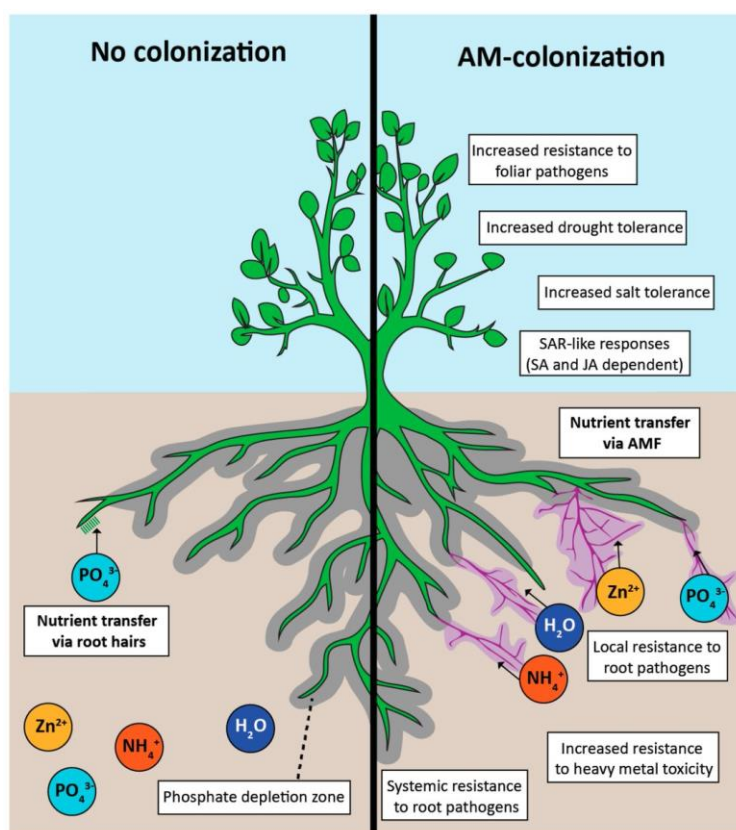


Figura 4 - Simbiose entre planta e fungos (AM – Micorrizas arbusculares) (Jacott et al., 2017).

A extensão do sistema radicular aumenta a absorção de fósforo, azoto, enxofre e magnésio, mas também de cobre e zinco. Para além disso, fornecem outros benefícios não nutricionais à planta hospedeira, como a resistência a problemas abióticos (seca, salinidade ou metais pesados) e bióticos (agentes patogénicos) (Bücking & Kafle, 2015). Em troca desses benefícios, a planta transfere entre 4% a 22% do seu carbono assimilável para o fungo (Wright et al., 1998).

Embora estudos mostrem que a absorção nutritiva mais eficiente através de micorrizas, seja de fósforo (Smith et al., 2011), existem numerosos trabalhos que provaram que estes fungos também podem transferir azoto para a planta hospedeira, tanto de fontes orgânicas como inorgânicas (Corrêa et al., 2015).

Já existem evidências do envolvimento das micorrizas na absorção de N nas plantas, mas existe a dúvida sobre a contribuição quantitativa para o azoto total, bem como os seus custos, e qual o seu significado fisiológico e ecológico. Da mesma forma, os processos envolvidos na absorção e na transferência de azoto são ainda pouco conhecidos, por isso são necessárias mais informações sobre a expressão de genes envolvidos na captação de N e na transferência solo-planta (Smith & Smith, 2011).

As micorrizas conseguem absorver  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  (Jin et al., 2002), embora haja evidências que tenham preferência pelo azoto na forma amoniacal (Tanaka & Yano, 2005), aumentam a mineralização (Hodge et al., 2001), têm um papel importante no ciclo do azoto (Hodge & Fitter, 2010) e conseguem reduzir o teor em nitratos no solo (Asghari & Cavagnaro, 2012).

A colonização com fungos influencia por um lado, o balanço nutritivo, especialmente os hidratos de carbono (Boldt et al., 2011) e por outro, a produção de hormonas (Torelli et al., 2000), que ambos potencializam a floração e frutificação da planta.

Para além disso, os fungos micorrízicos arbusculares diminuem a lixiviação, protegendo os recursos hídricos e reduzindo a emissão do gás  $\text{N}_2\text{O}$ , protegendo assim o clima. Todos estes aspetos são cruciais para uma intensificação sustentável da agricultura, pois existe uma necessidade de aumentar a produção, mas sem ampliar o uso dos fertilizantes e pesticidas (Carvalho et al., 2017).

O tipo de fertilização utilizada pelo agricultor é um fator importante que influencia a colonização dos fungos e a atividade biológica das raízes (Thirkell et al., 2016), assim como o estado nutritivo da planta e a quantidade de nutrientes existentes no solo

(Corkidi et al., 2002). As operações culturais também são outro parâmetro que interfere na associação entre as micorrizas e as plantas (Varennnes & Goss, 2007).

A relação C:N também é importante na absorção de N pelas plantas micorrizadas pois uma relação C:N elevada diminui a taxa de mineralização, resultando numa quantidade menor de N absorvido pelas plantas (Leigh et al., 2009).

Os estudos realizados sobre o efeito das micorrizas na exportação de azoto e no seu crescimento, têm obtido resultados positivos e negativos e a razão para a discrepância nos resultados não é clara. Apesar disso, é um facto assumido que o efeito das micorrizas é influenciado pela disponibilidade do nutriente, sendo negativo quando a disponibilidade é alta e positivo quando é baixa (Corrêa et al., 2015).

As conclusões contraditórias sobre o uso de micorrizas podem ser devidas ao facto de serem utilizadas várias combinações de espécies planta-fungo diferentes ou pelas características e condições do solo ou da fertilização (Boldt et al., 2011). É importante testar várias espécies de micorrizas em ambiente controlado e no campo, utilizando diferentes operações culturais e diferentes quantidades de azoto aplicado, desde nenhuma fertilização até à que é recomendada para cada cultura (Verzeaux et al., 2017).

Smith & Smith (2012) verificaram que, a utilização de plantas inoculadas com micorrizas provocaram um efeito negativo no crescimento vegetativo da planta, como consequência da retenção de azoto dos fungos.

Num estudo realizado por Azcón et al. (2011), foi observado que, a maior eficiência de azoto absorvida foi no tratamento com menor aplicação de N. Os resultados demonstraram ainda que, as plantas micorrizadas conseguem regular a sua exportação de azoto em relação à quantidade de N no solo. Miransari (2011) também concluiu que, grandes quantidades de fertilização azotada podem diminuir significativamente a absorção de N pelas plantas micorrizadas.

Bona et al. (2018) realizaram um estudo onde foi reduzida a fertilização em todos os tratamentos. As modalidades com micorrizas, pouparam 30% na utilização de fertilizantes químicos, sem ocorrer diminuição na produção final do tomate.

Evidentemente, ainda existem dúvidas em relação à utilização de micorrizas e há vários aspetos inconclusivos que condicionam o uso destes fungos. As adversidades que devem ser ultrapassadas são: a grande diversidade de resultados (positivos e negativos), o tempo que é necessário para que a colonização entre planta-fungo seja eficiente, o custo elevado e a grande diversidade de espécies (Carvalho et al., 2017).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Localização dos ensaios

Foram realizados dois ensaios experimentais, instalados em duas parcelas localizadas em Benavente (39°0'23.42"N 8°48'2.33"W; 38°59'51.89"N 8°47'13.53"W). Na parcela A, foi realizado um ensaio de fertilização azotada e na parcela B foi realizado um ensaio de fertilização azotada e fertilização azotada com plantas micorrizadas. As variedades utilizadas foram, respetivamente, Heinz 1015 e Heinz 1886.

A localização das parcelas está representada na Figura 5.



Figura 5 - Imagem aérea das parcelas do ensaio (Google Earth, 2019).

A variedade H1015 é a mais utilizada na produção de tomate de indústria. É de ciclo precoce e de boa qualidade industrial. O fruto tem um °Brix de médio a alto e uma boa cor. A variedade H1886 é uma nova variedade de ciclo tardio com um grande potencial produtivo. A planta tem uma boa cobertura vegetativa e um bom vingamento dos frutos (Nextera, 2019).

## 3.2. Caracterização do local

### 3.2.1. Clima

O clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Koppen, divide-se em duas regiões: uma de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e quente (Csa) e outra de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (Csb). (IPMA, 2019)

A região do Vale do Tejo, onde foram localizados os ensaios, enquadra-se na região Csa (Verão seco e quente).

Através do acesso a uma estação meteorológica existente numa das parcelas (Figura 6), conseguiu obter-se um gráfico com a variação da temperatura e precipitação ao longo dos dias em que decorreu o ensaio (10 Maio – 13 Setembro 2019).

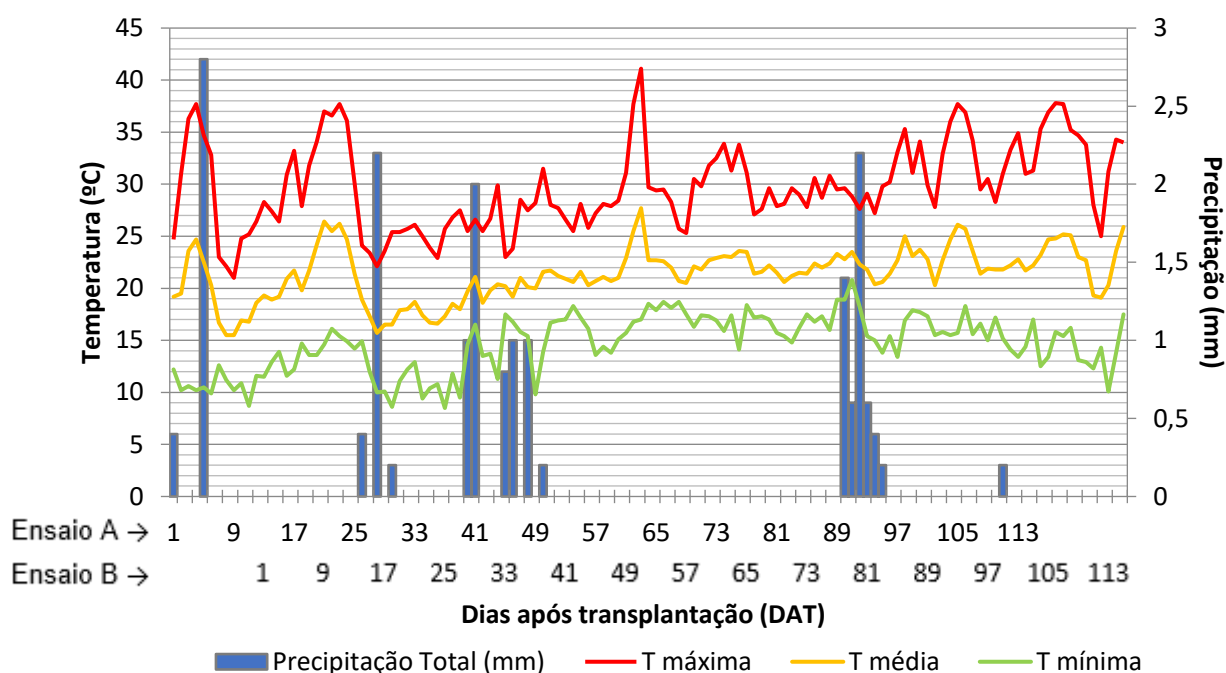


Figura 6 - Variação da temperatura (mínima, média e máxima) e da precipitação ao longo do ciclo da cultura. A plantação e fertilização correspondem, em ambos os ensaios, ao dia 0 DAT.

### 3.2.2. Solo

Foram retiradas amostras de solo no início do ensaio, em cada uma das parcelas em estudo, para caracterização do mesmo, conforme Quadro 4.

Para determinação da matéria orgânica do solo determinou-se o carbono orgânico total por via seca (TOC). O azoto total foi determinado através do processo *Kjeldahl* após digestão das amostras. O azoto nítrico e o amoniacal foram obtidos pelo método de espectrofotometria através da absorção molecular. O fósforo e o potássio assimilável foram determinados através do método *Egner-Riehn*. O ferro, cobre, zinco e manganês foram obtidos através do método *Lakanen*. Os outros parâmetros foram determinados através de calcinação (Chapman & Pratt, 1961).

Quadro 4 - Caracterização do solo em cada parcela de ensaio.

Parâmetro	Parcela	
	A	B
Textura de campo	Franco-arenosa	Arenosa-fina
C (%)	0,51	0,40
MO (%)	0,88	0,69
N Total (% na m.o)	0,06	0,04
N Nítrico (N-NO <sub>3</sub> ) (mg/kg)	22,20	0,50
N amoniacal (N-NH <sub>4</sub> ) (mg/kg)	< 0,5	< 0,5
pH (H <sub>2</sub> O)	6,60	7,43
CE (µs/cm)	281,23	309,77
P (mg/kg)	220,33	147,23
K (mg/kg)	278,53	106,39
C:N	8,5	10
Na [cmol(+)/kg]	0,18	0,11
K [cmol(+)/kg]	0,61	0,17
Ca [cmol(+)/kg]	2,43	2,34
Mg [cmol(+)/kg]	0,39	0,41
Fe (g/kg)	0,12	0,14
Cu (mg/kg)	13,77	1,45
Zn (mg/kg)	3,78	2,05
Mn (mg/kg)	17,68	4,48
P (% na m.s.)	1,75	1,01
K (% na m.s.)	0,04	0,36
Na (% na m.s.)	0,14	0,65
Ca (% na m.s.)	0,26	0,25
Mg (% na m.s.)	0,07	0,07
Cu (mg/kg na m.s.)	19,17	3,04
Fe (mg/kg na m.s.)	861,98	3090,07
Zn (mg/kg na m.s.)	13,94	9,27
Mn (mg/kg na m.s.)	39,72	21,39

### 3.2.3. Água da rega

Em cada parcela de estudo usou-se água de rega proveniente de furos localizados em cada uma, respetivamente (Quadro 5). A água em ambas as parcelas foi caracterizada para avaliar a sua qualidade para a rega do ensaio. Para obtenção dos carbonatos e bicarbonatos foi utilizado o método de potenciometria e para os restantes elementos foram determinados através de cromatografia iónica.

Em relação à condutividade elétrica, ambas as parcelas possuem média salinidade. Na parcela B, existem valores um pouco elevados, como o teor em bicarbonatos, nitratos, cloretos e a razão da absorção de sódio (SAR), pois já existe um grau de risco ligeiro a moderado (Ribeiro & Vasconcelos, 2015). Estes problemas poderão ter prejudicado os resultados obtidos no ensaio B.

Quadro 5 - Caracterização da água de rega em cada parcela.

Parâmetro	Parcela	
	A	B
pH (H <sub>2</sub> O)	6,40	6,00
CE (µs/cm)	582,00	282,90
Cloretos (mg Cl <sup>-</sup> /l)	1,84	255,60
Carbonatos	< 0,17	0
Bicarbonatos (meq HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	0,73	5,92
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	< 0,5	4,22
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	1,13	7,73
Na (meq/l)	2,21	1,62
Ca (meq/l)	1,43	0,26
Mg (meq/l)	0,82	0,27
SAR (meq/l)	1,58	3,24

### 3.3. Modalidades

Neste ensaio, foi alterada a fertilização de fundo, relativamente ao que era tradicionalmente praticado pelo agricultor na época pré-plantação. Para isso, foi utilizado um tratamento sem adubação azotada (N0) e um tratamento correspondente à fertilização habitualmente realizada pelo agricultor (N100). Na modalidade N50 foi reduzida a adubação de fundo para 50%, da normalmente utilizada pelo agricultor.

Na parcela A (Figura 7 – A), a plantação ocorreu no dia 10 de Maio e foram utilizadas as seguintes quantidades de azoto pré-plantação: 0, 12,5 e 25 kg N/ha respetivamente para as modalidades N0, N50 e N100.



Na parcela B (Figura 7 – B), foram realizados dois ensaios diferentes, um de fertilização azotada e um de fertilização azotada com plantas micorrizadas, ambos plantados no dia 24 de Maio. Foram usadas as seguintes quantidades de azoto: 0, 30 e 60 kg N/ha, correspondendo aos seguintes tratamentos: N0, N50 e N100 para as plantas não micorrizadas, e Myc N0, Myc N50 e Myc N100 para as plantas micorrizadas.

Em ambos os ensaios, os tratamentos foram realizados no dia da plantação, correspondente ao 0 DAT.



Figura 7 - Campo de ensaio na Parcela A e na Parcela B.

As plantas foram colonizadas em viveiro e o fungo micorrízico utilizado está apresentado em fotografia em anexo (Anexo 1). Os adubos utilizados no ensaio estão referidos no Quadro 6.

Quadro 6 - Adubos utilizados para a fertilização de fundo.

	<b>Parcela A</b>	<b>Parcela B</b>
Adubo utilizado	5 – 9 – 18	12 – 12 – 17

### 3.4. Monitorização dos ensaios

A fim de avaliar o desenvolvimento das plantas e de acompanhar o progresso da absorção do azoto nas plantas, foram realizadas várias recolhas de solo, de planta e de fruto ao longo do ciclo da cultura, incluindo também um registo fotográfico (Figura 8). À data da plantação da cultura, foi feita uma recolha inicial de água da rega e de solo de cada parcela, para obter uma caracterização completa do local.

Nas duas parcelas, foram recolhidas quatro amostras de solo e três recolhas de planta (pecíolo e folha), com aproximadamente 3 a 4 semanas de intervalo entre cada. Na parcela A, foram feitas duas recolhas de amostras de fruto (verde e vermelho) com 4 semanas de intervalo entre elas. Na parcela B, foi apenas efectuada uma recolha de fruto (verde e vermelho) no dia da colheita. Na parcela B, foram recolhidas cinco raízes de cada modalidade para analisar o seu teor em azoto. Cada recolha irá ser representada nos resultados como um tempo diferente.

As análises químicas realizadas a cada amostra, são essencialmente: a quantificação do teor de azotos (mineral, orgânico e *Kjeldahl* - total), os pesos em fresco e seco, a exportação de N das plantas, a análise do pH e a condutividade elétrica (CE). Todas as análises foram realizadas no laboratório do Instituto Superior de Agronomia.

De modo a obter a produção final em cada modalidade, foram colhidas 10 plantas de cada e registado o número e peso, de frutos vermelhos (comercializável) e frutos verdes e laranjas (não-comercializável) e o peso de cada planta.

Para avaliar a qualidade do tomate para o processamento, foram analisados vários parâmetros importantes como a cor, pH, teor em sólidos solúveis (TSS) e teor em licopeno.



Figura 8 – Monitorização de recolha de solo, planta e fruto.

### 3.5. Tratamentos fitossanitárias

Ao longo do ensaio, realizaram-se tratamentos fitossanitários necessários à manutenção do bom estado sanitário das plantas de modo a não comprometer a produção de tomate (Anexo 2 e Anexo 3). Os produtos utilizados foram os que são habitualmente aplicados pelos agricultores nas campanhas anuais de tomate.

### 3.6. Fertilizantes

Os fertilizantes aplicados ao longo do ciclo da cultura no ensaio A e B, estão apresentados respetivamente no Quadro 7 e Quadro 8, com a respetiva data de aplicação, fórmula do adubo e a quantidade aplicada. Para além disso, estão indicadas as unidades totais de azoto fornecidas por cada adubo, em quilogramas por hectare.

Quadro 7 - Adubos aplicados no ensaio A e as respetivas unidades de azoto.

<b>Data de aplicação</b>	<b>Adubo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Modo aplicação</b>	<b>Unidades totais de N</b>
27 maio	20-4-4	200 L/ha	Fertirrega	40 kg N/ha
3 junho	20-4-4	200 L/ha	Fertirrega	40 kg N/ha
14 junho	Entec 26%	300 kg/ha	Cobertura	78 kg N/ha
17 junho	20-4-4	200 L/ha	Fertirrega	40 kg N/ha
10 julho	6-3-12	100 L/ha	Fertirrega	6 kg N/ha
17 julho	6-3-12	100 L/ha	Fertirrega	6 kg N/ha
24 julho	6-3-12	100 L/ha	Fertirrega	6 kg N/ha
31 julho	6-3-12	100 L/ha	Fertirrega	6 kg N/ha
<b>Total</b>				<b>222 kg N/ha</b>

Quadro 8 - Adubos aplicados no ensaio B e as respectivas unidades de azoto.

Data de aplicação	Adubo	Quantidade	Modo aplicação	Unidades totais de N
31 maio	Rootex (Enraizante) 7-47-6	10 kg/ha	Fertirrega	0,7 kg N/ha
31 maio	Rootex (Enraizante) 7-47-6	10 kg/ha	Fertirrega	0,7 kg N/ha
8 junho	Nitromagnesio 11-0-0	50 kg/ha	Fertirrega	5,5 kg N/ha
8 junho	Sulfato de amónio 20,5-0-0	50 kg/ha	Fertirrega	10,25 kg N/ha
8 junho	13-40-13	100 kg/ha	Fertirrega	13 kg N/ha
8 junho	Ureia 46-0-0	100 kg/ha	Fertirrega	46 kg N/ha
8 junho	Entec 26%	300 kg/ha	Cobertura	78 kg N/ha
10 junho	Nitroplus	15 kg/ha	Fertirrega	2,25 kg N/ha
1 julho	13-40-13	100 kg/ha	Fertirrega	13 kg N/ha
1 agosto	Sulfato de Potássio 0-0-53	150 kg/ha	Fertirrega	0 kg N/ha
10 agosto	Stoller Potássio 9-0-15	20 kg/ha	Fertirrega	1,8 kg N/ha
<b>Total</b>				<b>171,20 kg N/ha</b>

### 3.7. Análise estatística

O tratamento dos resultados experimentais foi efetuado com recurso à análise de variância (ANOVA), utilizando o programa *IBM SPSS Statistics 26*, para avaliar o efeito das modalidades nas variáveis experimentais estudadas, e posteriormente a comparação de médias, nas modalidades experimentais com efeito significativo, através do teste de *Tukey* para  $\alpha=0,05$ .

### 3.8. Constrangimentos

Dado que os ensaios se desenrolaram, não em estações experimentais, mas em explorações privadas, estes tiveram alguns constrangimentos operacionais devidos às necessidades dos agricultores em realizarem as operações culturais não respeitando, por vezes, o plano do ensaio, previamente delineado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Ensaio da Parcela A

Os resultados obtidos no ensaio de fertilização desenvolvido na parcela A, apresentam-se abaixo.

#### 4.1.1. Azoto total no solo

Na Figura 9 apresentam-se os valores médios de azoto total (*Kjeldahl*) presente no solo, ao longo dos dias após transplantação da cultura (DAT). Observa-se que, desde o início da cultura até cerca de 50 DAT, não houve alterações na quantidade de azoto no solo.

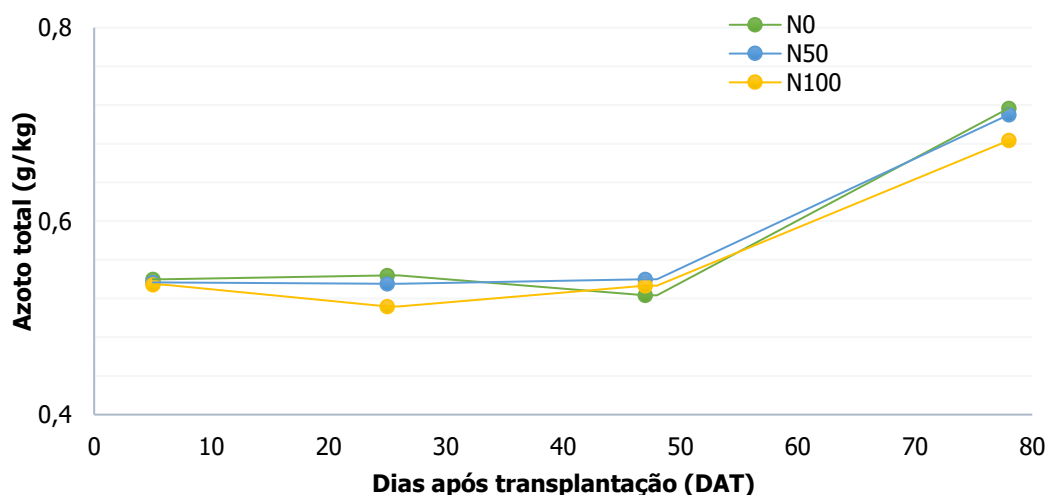


Figura 9 – Gráfico com a evolução do teor de azoto total (g/kg) no solo ao longo do tempo.

A partir desse dia, houve um aumento do teor de azoto em todas as modalidades, justificado pela adubação realizada através de fertirrega ocorrida entre o intervalo de colheitas T3 e T4, pois foram aplicados 18 kg de azoto por hectare, ao longo de vários dias, correspondendo a 62, 69 e 76 DAT (Quadro 7).

Os valores das médias obtidos nos vários tempos são muito idênticos (Quadro 9), e com recurso à análise de variância, confirma-se que as médias não são diferentes significativamente. Observa-se que a fertilização azotada realizada no início da cultura, não afetou significativamente a quantidade de azoto total no solo.

Quadro 9 – Valores de azoto total (g/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão n=3.

Modalidade	T1	T2	T3	T4
<b>N0</b>	0,54 $\pm$ 0,003	0,54 $\pm$ 0,042	0,52 $\pm$ 0,025	0,72 $\pm$ 0,047
<b>N50</b>	0,54 $\pm$ 0,032	0,54 $\pm$ 0,027	0,54 $\pm$ 0,021	0,71 $\pm$ 0,021
<b>N100</b>	0,53 $\pm$ 0,027	0,51 $\pm$ 0,032	0,53 $\pm$ 0,040	0,68 $\pm$ 0,021

Contrariamente a estes resultados, Elia & Conversa (2012) descrevem uma acumulação positiva e linear de azoto total com o fornecimento de diferentes doses de azoto. Também foi observado por Costa et al. (2008) que a aplicação de doses elevadas de azoto aumenta os teores de azoto total no solo.

#### 4.1.2. Azoto mineral no solo

Na Figura 10 encontram-se os valores médios de azoto mineral presente no solo, ao longo dos dias após a instalação da cultura. Assim, como o que foi observado no caso do azoto total, não ocorreram oscilações no teor em azoto mineral nos primeiros 50 DAT.

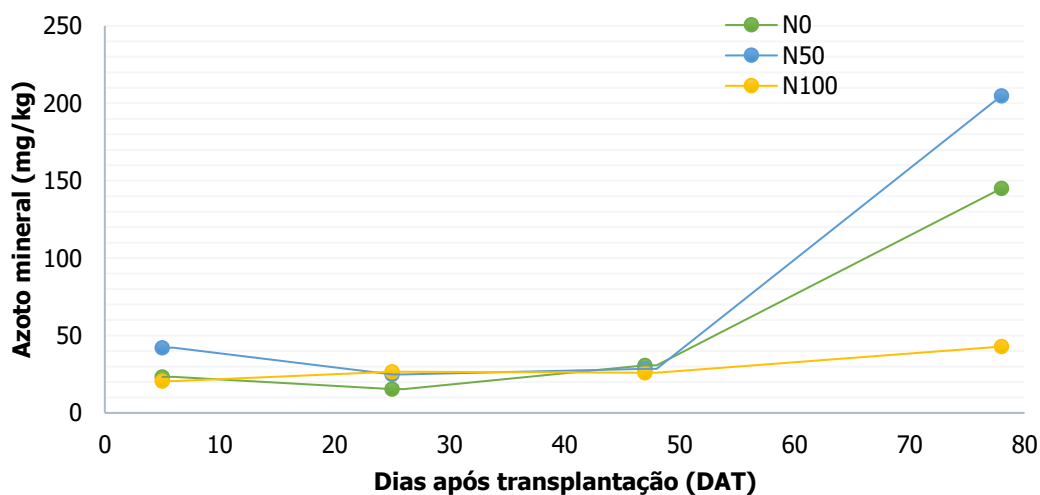


Figura 10 - Gráfico com a evolução do teor de azoto mineral (mg/kg) no solo ao longo do tempo.

A partir dessa altura, todas as modalidades aumentaram o seu teor em azoto mineral, sendo que o tratamento N0 e N50 tiveram um grande aumento e o tratamento N100 aumentou apenas ligeiramente. Como já foi referido antes, este aumento é justificado pela realização de adubações azotadas através de fertirrega, que aconteceu

mesmo na modalidade T0. Soto et al. (2015) também observaram um aumento exponencial no azoto mineral no final do ciclo da cultura.

A análise de variância mostrou que ocorreram diferenças significativas em todos os tempos de amostragem (Quadro 10), mostrando que houve efeito da fertilização azotada na quantidade de azoto mineral do solo, ao longo de todo o ciclo da cultura.

Quadro 10 - Valores de azoto total (g/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

Modalidade	T1	T2	T3	T4
<b>N0</b>	23,26 $\pm$ 0,28 b	15,37 $\pm$ 0,67 c	30,69 $\pm$ 0,46 a	145,04 $\pm$ 3,40 b
<b>N50</b>	42,16 $\pm$ 1,63 a	24,88 $\pm$ 0,45 b	28,42 $\pm$ 0,31 b	204,95 $\pm$ 0,78 a
<b>N100</b>	20,55 $\pm$ 1,10 c	26,53 $\pm$ 0,36 a	25,96 $\pm$ 0,23 c	42,87 $\pm$ 1,35 c

Estas observações estão de acordo com os resultados de Farneselli et al. (2015), em que o azoto mineral sofreu alterações com as diferentes doses de azoto. Geisseler et al. (2019) observaram que o azoto mineral diminuiu ao longo do tempo e as diferentes doses de fertilização são estatisticamente iguais.

Na última amostragem, o tratamento onde se observou o valor mais elevado de azoto mineral foi o N50, com 204,95 mg N/kg, enquanto que no tratamento N100, que seria espectável o valor mais elevado, só tinha 42,87 mg N/kg.

#### 4.1.3. Azoto total na planta

Na Figura 11 encontram-se os valores médios de azoto total presente na planta (folhas), ao longo dos dias após a instalação da cultura. Os valores obtidos estão entre os 41 e 18 g N/kg planta.

Houve um decréscimo no teor de azoto ao longo do tempo, tal como descrito por Hartz & Bottoms (2009). Os mesmos autores sugerem ainda, que a concentração deste nutriente nas folhas é dependente do estado nutritivo na planta, sendo este um bom indicador de diagnóstico.

Gargantini & Blanco (1963) observaram que a absorção de azoto pela planta é crescente e constante ao longo do ciclo, o que não se sucedeu neste caso.



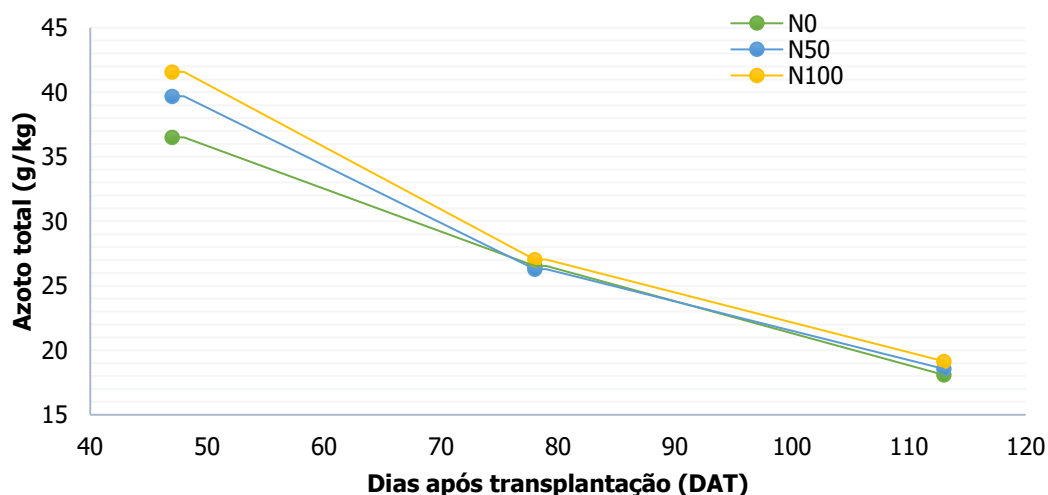


Figura 11 – Gráfico com os valores de azoto total (g/kg) na planta nos vários tempos.

A modalidade N100 obteve os valores ligeiramente superiores em ambos os tempos. A análise de variância (Quadro 11) mostrou que ocorreram diferenças significativas no T1 e no T3. Isso significa que houve efeito da fertilização azotada na quantidade de azoto presente na planta, nos primeiros 50 dias de desenvolvimento da planta, tal como observado por Giuffrida et al. (2012). Na fase intermédia do ciclo da planta não houve influência da fertilização.

Quadro 11 - Valores de azoto total (g/kg) na planta nos vários tempos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . Em cada coluna, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

Modalidade	T1	T2	T3
<b>N0</b>	36,50 $\pm$ 0,89 c	26,53 $\pm$ 0,60 a	18,09 $\pm$ 0,53 b
<b>N50</b>	39,69 $\pm$ 0,07 b	26,29 $\pm$ 0,11 a	18,56 $\pm$ 0,28 a
<b>N100</b>	41,58 $\pm$ 0,38 a	27,02 $\pm$ 1,48 a	19,15 $\pm$ 0,16 a

Erdal et al. (2006) afirmaram que, quanto maior for a dose de fertilizante aplicada, maior será a percentagem de azoto nas folhas, e que estes órgãos apresentam valores superiores aos dos frutos.



#### 4.1.4. Azoto total no fruto

Na Figura 12, estão apresentados os valores médios de azoto total, obtidos em frutos verdes e vermelhos, onde foram realizadas duas recolhas T1 e T2. Os valores obtidos estão entre os 29 e 22 g N/kg fruto. Ao longo do tempo, a quantidade de azoto presente em ambos os frutos, diminuiu.

Pelo contrário, Gargantini & Blanco (1963), observaram que a acumulação deste nutriente no fruto é crescente ao longo do desenvolvimento da planta.

Nos resultados dos frutos verdes, pode constatar-se que os valores de azoto total não diferem significativamente no T1, e apenas o tratamento N100 difere significativamente dos outros tratamentos no T2, existindo efeito da fertilização. Nos frutos vermelhos, apenas no T1 o tratamento N100 difere significativamente dos outros tratamentos, enquanto que no T2 as médias são significativamente iguais.

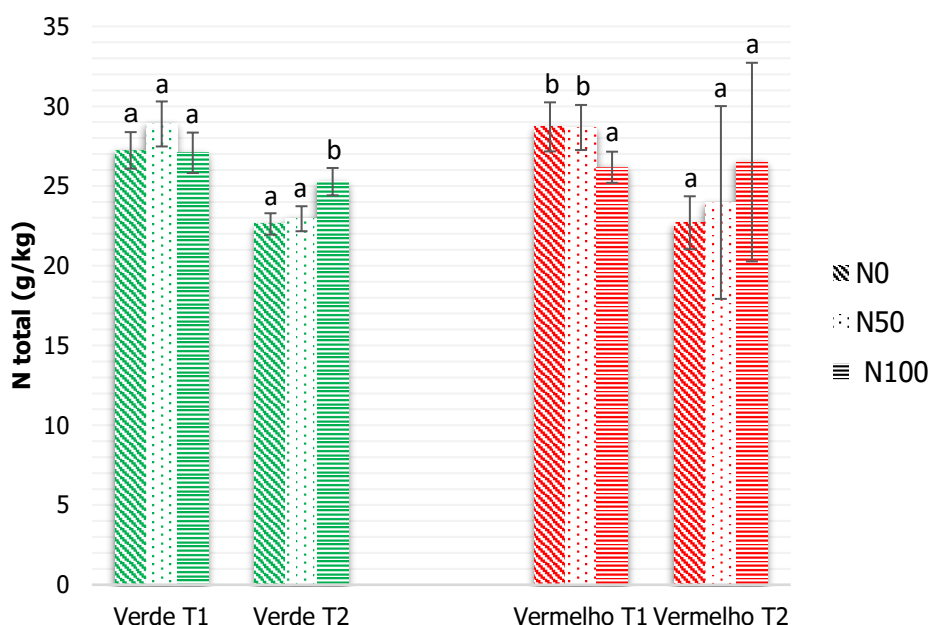


Figura 12 - Valores médios de azoto total (g/kg) no fruto (verde e vermelho) nos vários tempos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

Blanco & Folegatti (2008) e Hartz & Bottoms (2009) não observaram diferenças significativas na concentração de azoto nos frutos com o incremento da dose da fertilização azotada. Num estudo realizado por Tei et al. (2002), foi observado que o azoto total presente em tomate cresceu linearmente com o aumento da adubação azotada.

#### 4.1.5. Número de frutos

O número de frutos por planta foi contabilizado em dois grupos, os frutos verdes e laranjas (não-comercializável) e os vermelhos (comercializável) (Figura 13 e Figura 14).

O tratamento N100 obteve o maior número de frutos vermelhos com uma média de 59,6 por planta. O tratamento N0 apresentou um valor muito próximo, com a média de 57,7 frutos por planta. As médias não são significativamente diferentes, ou seja, não ocorreu influência da fertilização azotada de fundo no número de frutos vermelhos.

Em relação aos frutos verdes, o tratamento N100 obteve um número superior em comparação com as outras dosagens de azoto, o que não é positivo, pois estes frutos não são aproveitados. Tal como antes, as médias das modalidades não são significativamente diferentes.

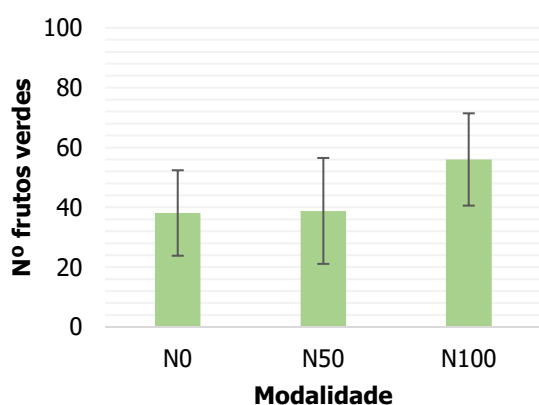


Figura 13 - Número de frutos verdes e laranjas (não-comercializável) por planta. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=10$ .

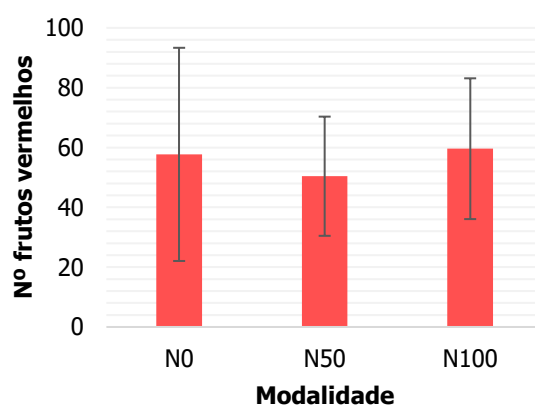


Figura 14 - Número de frutos vermelhos (comercializável) por planta. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=10$ .

Segundo Ferreira et al. (2010), as doses superiores de azoto provocam um aumento no número de frutos, pois a disponibilidade deste nutriente promove a síntese de giberelinas (hormonas), responsáveis pela frutificação e crescimento dos frutos. Carvalho (2017), realizou um ensaio onde o número de frutos por planta aumentou com o incremento da dose de fertilização azotada.

Tei et al. (2002) descrevem que o fornecimento de maiores doses de azoto promove o aumento do número de frutos por planta em tomateiros. Estes resultados dependem da variedade de tomate de indústria utilizada, pois segundo Neta et al. (2019) a fertilização azotada influencia de maneira diferente em cada variedade, sendo que os

resultados não foram unânimes, como visto neste ensaio, porém, maior número de frutos não significa maior peso de fruto comercializável.

#### 4.1.6. Exportação de azoto

A exportação é a quantidade de azoto que foi absorvido pela planta e fruto ao longo de todo o ciclo da cultura. Os resultados obtidos foram de 446, 332 e 312 kg N/ha, respetivamente para o tratamento N100, N50 e N0 (Figura 15).

Tei et al. (2002) obtiveram valores entre os 156 e 289 kg N/ha, resultados inferiores aos registados neste ensaio. Hartz & Bottoms (2009) verificaram valores entre 197 e 331 kg N/ha e Giuffrida et al. (2012) alcançaram valores entre os 118 e 364 kg N/ha.

Neste ensaio, a maior exportação foi obtida na modalidade N100 e a menor na modalidade N0, o que parece ter sido proporcional à quantidade de azoto presente no solo. Os resultados estão de acordo com vários autores, que sugerem que a dose de fertilização utilizada afeta a exportação de azoto (Erdal et al., 2006; Geisseler et al., 2019).

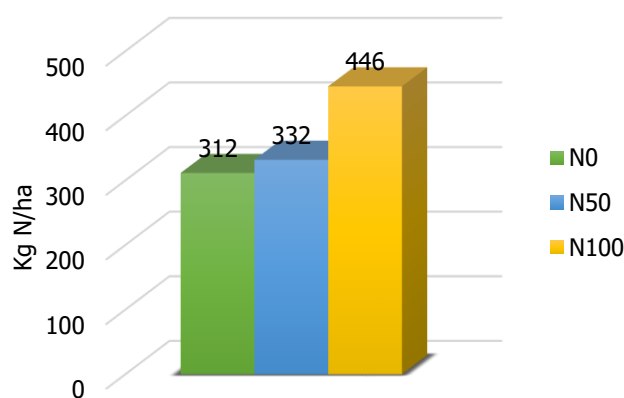


Figura 15 - Exportação de azoto (kg/ha).

#### 4.1.7. Produtividade

O tratamento que obteve a maior produção foi N100 com uma média de 127 t/ha (Figura 16). Warner et al. (2004), Erdal et al. (2006) e Elia & Conversa (2012) também alcançaram uma produtividade superior com as maiores doses de azoto em diferentes variedades de tomate de indústria.

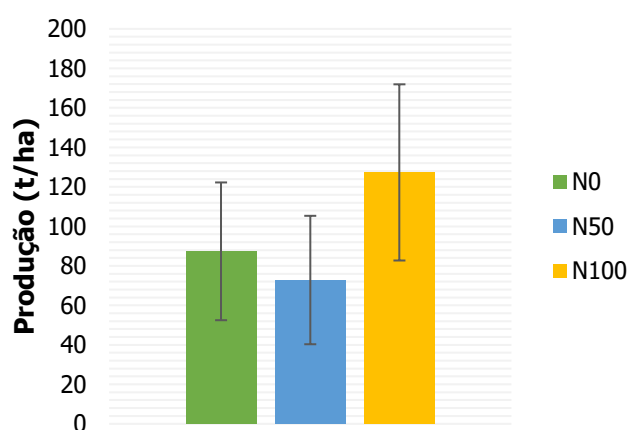


Figura 16 - Produção final de frutos vermelhos (t/ha) obtida através da amostra recolhida. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=10$ .

A modalidade N0, em que não foi aplicado azoto de fundo na plantação, obteve resultados estatisticamente iguais às restantes modalidades, resultado que não seria expectável, mas que sugere que a adubação de fundo realizada em pré-plantação, não tem influência na produção final.

Este resultado, pode ser parcialmente explicado pela disponibilidade inicial de azoto no solo e pela fertirrega realizada após 1 a 2 semanas da transplantação, que poderá ser suficiente para o seu desenvolvimento inicial (Marouelli et al., 2014). Assim, para colmatar as necessidades da planta, a forma mais eficaz de conseguir boas produções é através da fertirrega realizada ao longo do ciclo da cultura.

Não ocorreram diferenças significativas de produtividade entre os diferentes tratamentos, o que significa que não houve interação da fertilização azotada realizada na altura de plantação na produção final, tal como observado por Blanco & Folegatti (2008) e Marouelli et al. (2014).

#### 4.1.8. Parâmetros de qualidade do fruto

Na Figura 17 estão presentes os valores obtidos nos diferentes tratamentos nos parâmetros de qualidade do fruto, sendo eles o teor de sólidos solúveis (TSS), o pH, a cor e o teor em licopenos.

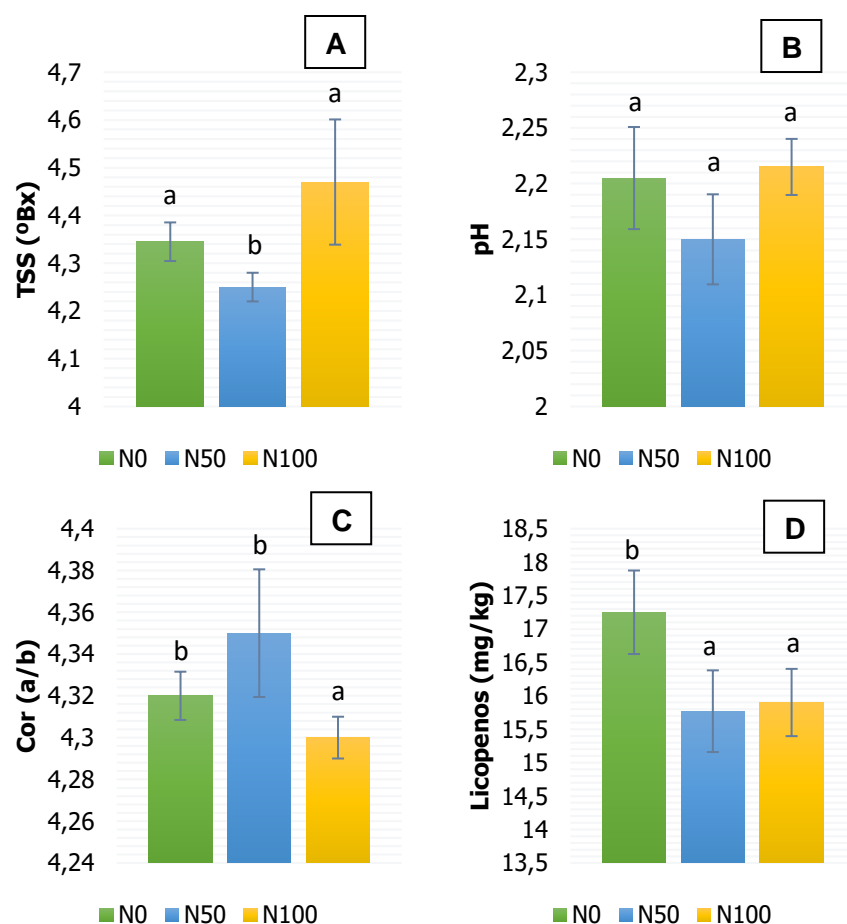


Figura 17 – Valores obtidos na avaliação dos parâmetros de qualidade: A - teor em sólidos solúveis (TSS), B - pH, C- cor; D - teor em licopenos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão n=3. As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

Os valores de TSS obtidos neste ensaio estão entre 4,2 e 4,6 °Brix, sendo que estão ligeiramente mais baixos que os valores normais, entre 4,5 e 5,5 °Brix (Calvo et al., 2008). O tratamento N100 obteve os valores mais elevados. Os resultados mais baixos foram obtidos no tratamento N50, que difere significativamente dos outros tratamentos. Blanco & Folegatti (2008) e Marouelli et al. (2014) não obtiveram diferenças significativas entre o teor de sólidos solúveis e a fertilização azotada. Benard et al. (2009), descrevem um aumento no TSS com o decréscimo de azoto fornecido.

Em relação ao pH, os valores normais rondam os 4,2 e 4,4 (Calvo et al., 2008), sendo que neste ensaio os valores obtidos foram entre 2,1 e 2,2, o que significa que são ácidos e poderão ser rejeitados na indústria. As médias dos tratamentos não diferem significativamente. Parisi et al. (2006) obtiveram resultados em que o pH do tomate foi superior em doses superiores de adubação azotada mas, já se realizaram estudos em que as dosagens de azoto não influenciaram o pH do fruto (Neta et al., 2019).

Na cor do fruto, o tratamento N100 foi estatisticamente diferente dos outros tratamentos e apresentou valores inferiores. Os resultados obtidos de cerca de 4,3, foram muito superiores aos normais de cerca de 2,2 e 2,5 (Calvo et al., 2008), o que pode ser explicado por um estado de maturação muito avançado ou por características da variedade. Segundo Parisi et al. (2006) e Benard et al. (2009), a diminuição da dose azotada não tem grande impacto na coloração dos frutos.

Em termos de licopeno, verifica-se que o tratamento N0 apresentou um valor significativamente superior aos outros tratamentos, o que demonstra que a diminuição da fertilização azotada promove o aumento no teor de licopenos. Estes resultados são contrários aos divulgados por Benard et al. (2009), que mencionam que o teor de licopeno não é influenciado pela diminuição da dose de azoto. Contudo, Bona et al. (2016) referem que o teor de carotenoides diminui com a diminuição da fertilização. As temperaturas elevadas observadas acima dos 30°C (Figura 6), no final do ciclo da cultura contribuem negativamente para a formação do licopeno.

## 4.2. Ensaio da Parcela B

Os resultados obtidos no ensaio de fertilização desenvolvido na parcela B, com teste de micorrizas apresentam-se abaixo.

### 4.2.1. Azoto total no solo

Na Figura 18 apresentam-se os valores médios de azoto total (*Kjeldahl*) presente no solo, ao longo do desenvolvimento da cultura. Os valores médios de azoto total são significativamente diferentes entre os tratamentos sem e com micorrizas em apenas quatro casos, enquanto que no resto dos casos não diferem significativamente. Bender et al. (2015) observaram que o azoto total presente no solo diminuiu nas modalidades com micorrizas.

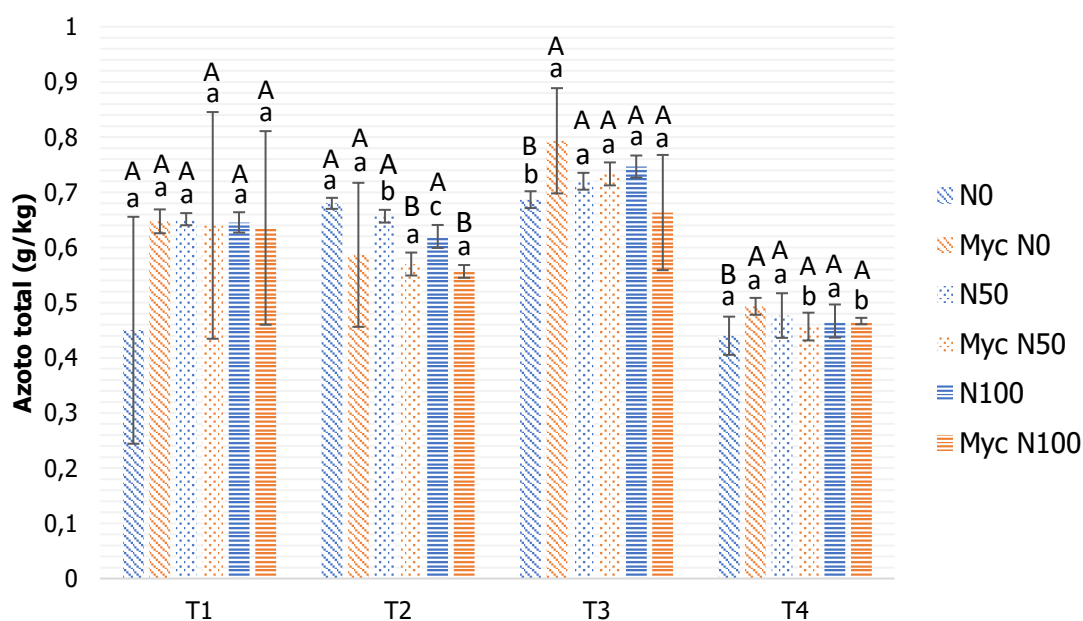


Figura 18 - Variação de azoto total (g/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). As letras maiúsculas comparam as modalidades com e sem micorrizas (comparação entre colunas com o mesmo padrão). As letras minúsculas comparam as modalidades com diferentes doses de fertilização (comparação entre colunas da mesma cor).

Ao longo do tempo, não se observam grandes diferenças no teor de azoto total no solo. Apenas se verificou alterações, no final do ciclo, T4, onde ocorre uma redução no azoto presente no solo, em todos os tratamentos. Este período equivale a 113 DAT, e pode ser explicada pela maior absorção de azoto na fase de maturação, tal como descrito por Almeida (2006).

#### 4.2.2. Azoto mineral no solo

Na Figura 19 apresenta-se os valores médios de azoto mineral presente no solo, ao longo do desenvolvimento da cultura. Ao longo do tempo, os valores médios de azoto mineral são significativamente diferentes entre os tratamentos sem e com micorrizas, existindo na maior parte dos casos, uma redução da quantidade de azoto mineral em plantas micorrizadas, tal como observado por Corkidi et al. (2011).

Cavagnaro & Martin (2011) obtiveram uma relação positiva entre micorrizas e a concentração de azoto mineral no solo. Bender et al. (2015) observaram que a concentração de azoto mineral não teve efeito significativo da utilização de micorrizas.

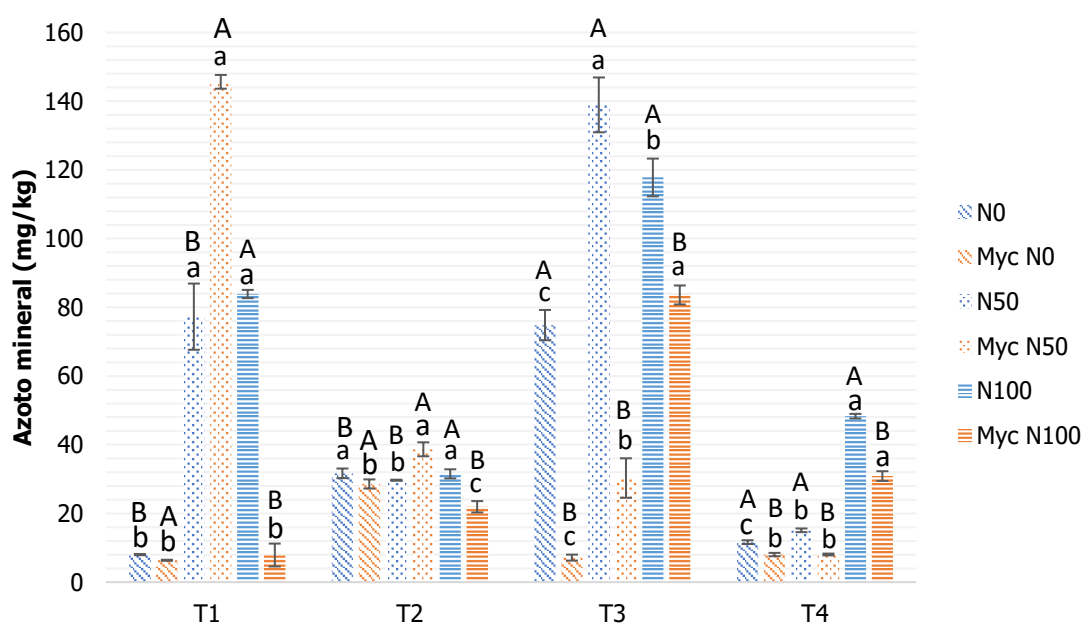


Figura 19 - Variação de azoto mineral (mg/kg) no solo nos vários tempos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). As letras maiúsculas comparam as modalidades com e sem micorrizas (comparação entre colunas com o mesmo padrão). As letras minúsculas comparam as modalidades com diferentes doses de fertilização (comparação entre colunas da mesma cor).

No T1 (11 DAT), observam-se valores muito altos para os tratamentos N50, Myc N50 e N100. Em todos os tratamentos a utilização de micorrizas reduziu a quantidade de azoto mineral, exceto no Myc N50, em que obteve um resultado muito superior em comparação com os restantes. Em relação à fertilização, observou-se diferenças significativas entre as doses de N0 e N50.



Cerca de 3 semanas depois, no T2 (33 DAT), todos os tratamentos obtiveram resultados idênticos e ocorreu uma grande diminuição no N50, Myc N50 e N100. Novamente, apenas no tratamento Myc N50, as plantas micorrizadas obtiveram valores superiores às não micorrizadas, sendo que nas outras quantidades de fertilização, as micorrizadas demonstraram valores inferiores. Nos tratamentos com micorrizas, as doses de azoto utilizadas são diferentes significativamente, enquanto que em plantas sem micorrizas apenas o N50 é diferente significativamente das restantes. Este resultado pode ser explicado pela ocorrência de precipitação acentuada ocorrida dias antes desta recolha, podendo ter ocorrido lixiviação (Figura 6).

No T3 (64 DAT), nas modalidades sem micorrizas, os valores de azoto mineral subiram bastante, enquanto que nas plantas micorrizadas apenas o tratamento Myc N100 aumentou. Em relação à dose de fertilização, todas elas diferem significativamente.

No final (113 DAT), equivalente ao T4, os resultados voltam a diminuir drasticamente em relação ao último tempo. Ambos os tratamentos com doses de fertilização de 100% apresentaram ser significativamente diferentes dos restantes. Esta diminuição poderá ser consequência da lixiviação provocada pela chuva ocorrida entre os 75 e 85 DAT.

#### **4.2.3. Azoto total na planta**

Na Figura 20 encontram-se os valores médios de azoto total presente na planta (folhas), ao longo do tempo. Observa-se uma diminuição do teor de azoto à medida que se avança no ciclo da cultura, o que poderá ser justificado pela utilização do azoto para outras partes da planta como vingamento e desenvolvimento do fruto.

As médias de azoto total na planta nas modalidades com e sem micorrizas são diferentes significativamente, tal como mencionado por Hodge et al. (2001).

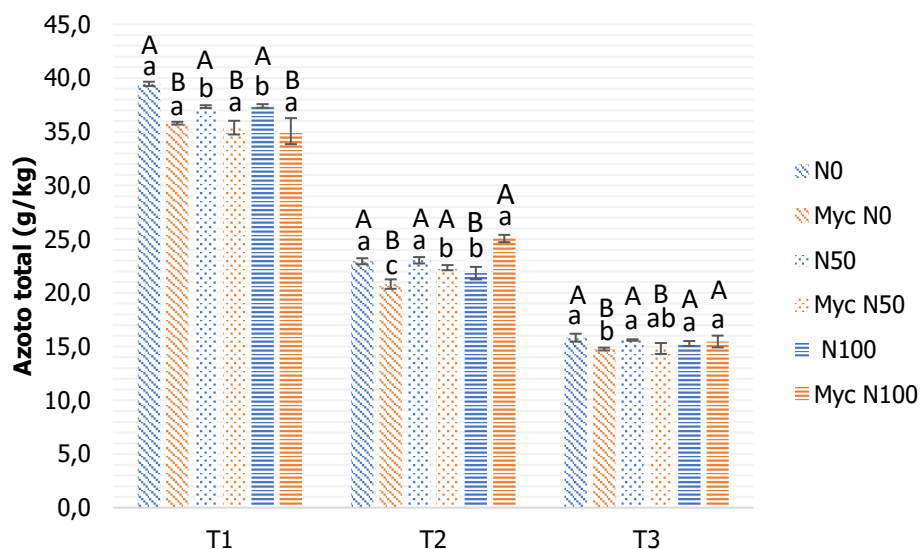


Figura 20 - Variação do azoto total (g/kg) na planta nos vários tempos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . Em cada tempo, as modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ). As letras maiúsculas comparam as modalidades com e sem micorrizas (comparação entre colunas com o mesmo padrão). As letras minúsculas comparam as modalidades com diferentes doses de fertilização (comparação entre colunas da mesma cor).

Em praticamente todos os casos, os tratamentos com micorrizas apresentaram valores inferiores de azoto na folha. Estes resultados são contrários aos apresentados por Bowles et al. (2016), que referem que a concentração de azoto nas folhas em plantas micorrizadas é 5% superior. Outros autores obtiveram concentrações de azoto em plantas micorrizadas de cerca de 6-7% superior (Barrett et al., 2011; Herman et al., 2012). Ainda foram encontradas percentagens superiores a 15% em outros estudos sobre o efeito dos fungos micorrízicos arbusculares no azoto da planta (Barrett et al., 2014; Thirkell et al., 2016).

#### 4.2.4. Azoto total no fruto

A quantidade de azoto total obtida em frutos vermelhos (*comercializável*) foi entre 13,5 e 22,2 g N/kg e entre 15,5 e 22,1 g N/kg em frutos verdes (*não-comercializável*), como se pode observar na Figura 21 e Figura 22.

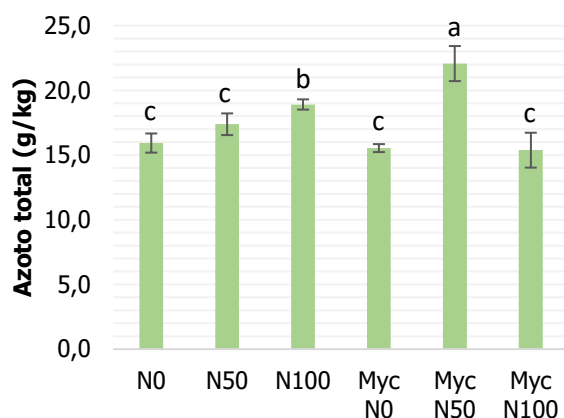


Figura 21 - Quantidade de azoto total (g/kg) em frutos verdes. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão n=3.

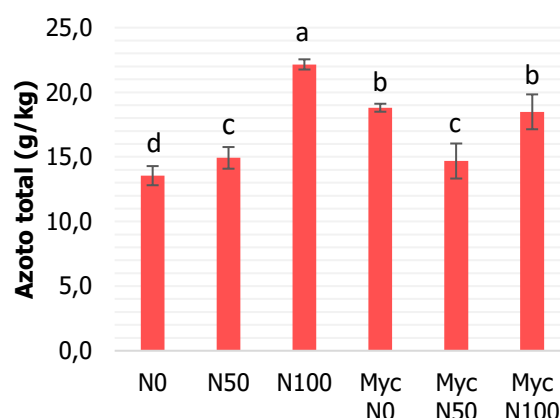


Figura 22 - Quantidade de azoto total (g/kg) em frutos vermelhos. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão n=3.

Nos frutos verdes, pode-se constatar que a concentração de azoto no fruto no tratamento N100 difere significativamente dos outros tratamentos, mostrando que ocorreu influência da fertilização azotada. Nas modalidades com micorrizas, observa-se que a média de Myc N50 é significativamente diferente das outras doses de fertilização, sendo este o tratamento com os resultados mais elevados.

Relativamente aos frutos vermelhos, ocorreu interação da fertilização azotada e das micorrizas na quantidade de azoto total presente no fruto. O tratamento N100 obteve os valores mais altos, provando que com o aumento da fertilização, a concentração de azoto no fruto também aumenta. Bona et al. (2016) observaram que o valor de nitrato presentes no fruto, reduziu para metade em plantas micorrizadas.

A utilização de micorrizas, parece promover o aumento de teor de azoto quando a fertilização é reduzida, como descrito por Azcón et al. (2011). As grandes doses de azoto diminuem a eficiência da absorção deste nutriente pelas micorrizas (Miransari, 2011).

Nas plantas sem micorrizas, a concentração de azoto presente nos frutos cresceu linearmente com o aumento da adubação azotada, tal como descrito por Tei et al. (2002).

#### 4.2.5. Número de frutos

Na Figura 23 e Figura 24, estão apresentados os resultados do número de frutos. Nos frutos vermelhos (não-comercializável), o tratamento N50 obteve o maior número com uma média de 38,4. O tratamento Myc N0 apresentou o resultado mais baixo, com a média de 12,2 frutos por planta.

Observa-se que o maior número de frutos foi obtido nas modalidades com a maior dose de fertilização azotada, mas apesar disso são significativamente iguais. As médias das plantas micorrizadas foram inferiores, mas são significativamente iguais às plantas sem micorrizas. Michałojć et al. (2015) também constatou que a utilização de plantas micorrizadas não afeta o número de frutos.

Contrariamente a estes resultados, existem autores que referem que os fungos micorrízicos aumentam o número de flores do tomate (Subramanian et al., 2006), devido à produção de hormonas (Torelli et al., 2000) e captação de hidratos de carbono (Boldt et al., 2011), que favorecem a floração e frutificação da planta. Todavia existem resultados que indicam que as micorrizas reduzem a produção floral (Barber et al., 2013).

Em relação aos frutos verdes (não-comercializável), o tratamento N0 e Myc N0 obtiveram a média maior do número de frutos verdes, mas significativamente iguais às outras modalidades. Isto significa, que a fertilização azotada e a utilização de micorrizas, não tem influência na quantidade de frutos não-comerciais.

A grande ocorrência de frutos verdes, pode ser justificada pelo atraso na maturação da variedade e a colheita ter sido precoce. Num estudo elaborado por Bona et al. (2018) a inoculação de plantas com micorrizas reduziu significativamente o número de frutos verdes, o que não se verificou neste estudo.

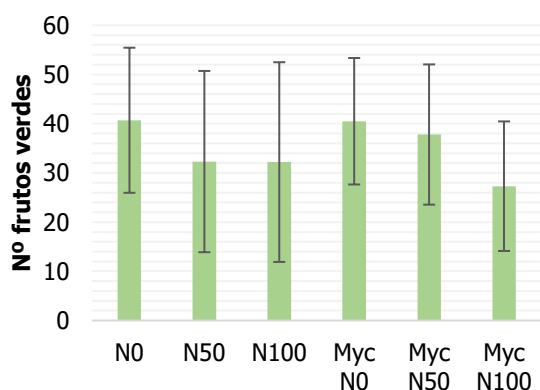


Figura 23 – Número de frutos verdes e laranjas (não-comercializável) por planta. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão n=10.

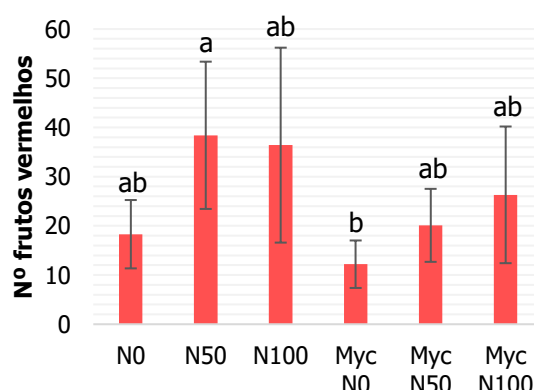


Figura 24 – Número de frutos vermelhos (comercializável) por planta. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão n=10.

#### 4.2.6. Exportação de azoto

Os resultados obtidos na exportação de azoto pela planta e fruto foram de 129 a 251 kg N/ha, como se pode observar na Figura 25. O maior valor obtido foi no tratamento N100 e o menor foi no N0. As plantas com micorrizas com fertilização de 0%, obtiveram valores muito maiores do que sem micorrizas, mostrando que a eficiência dos fungos é superior com doses de fertilizações mais baixas, tal como descrito por Miransari (2011).

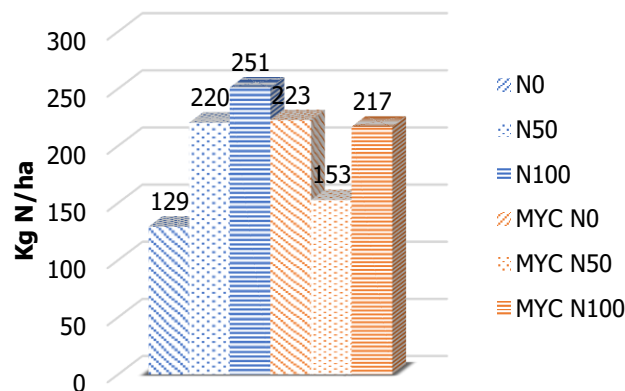


Figura 23 - Exportação de azoto (kg/ha).

Em relação às modalidades N50 e N100, a utilização de micorrizas não melhorou a exportação do nutriente. Reynolds et al. (2005) refere que, a exportação de azoto por plantas micorrizadas não teve grandes alterações em comparação com plantas normais, o que sugere que os fungos micorrízicos não têm um papel determinante na exportação.

Contrariamente a estes resultados, Leigh et al. (2009) e Barrett et al. (2014) observaram uma contribuição por parte das micorrizas de cerca de 15-20% para a exportação de azoto.

As diferenças nos resultados podem ser justificadas pelas diferenças na razão C:N do solo, que influencia a absorção dos nutrientes pelas micorrizas (Leigh et al., 2009).

#### 4.2.7. Produtividade

O tratamento que obteve a maior produção foi N50, com uma média de 105 t/ha e a menor produção foi para N0 com 54 t/ha (Figura 26). O resultado mais interessante, foi a modalidade de N100, com a fertilização convencional, que obteve a mesma produção média que a modalidade sem fertilização, mas com micorrizas.

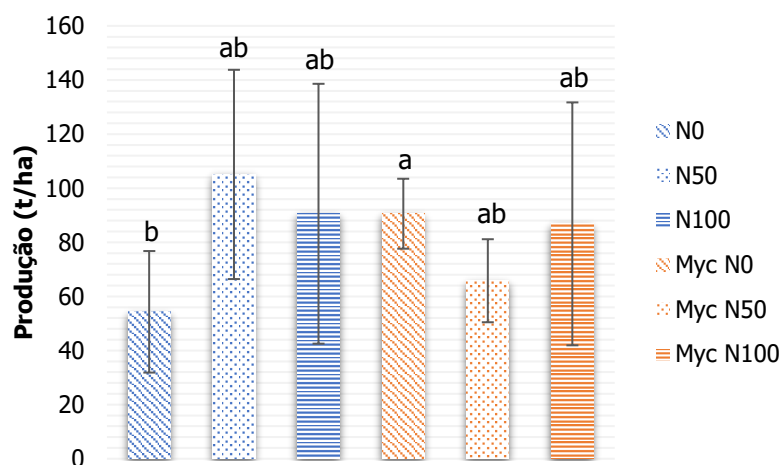


Figura 24 - Produção final de frutos vermelhos (t/ha) obtida através da amostra recolhida. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=10$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

Apenas existem diferenças significativas na produtividade na fertilização de 0%, em que as plantas micorrizadas obtiveram valores superiores na sua produção. Apesar de apenas se verificar diferenças significativas em dois casos, essa observação está de acordo com os resultados de Subramanian et al. (2006) e Bowles et al. (2016), que indicam um aumento na produção final provocado pela utilização de micorrizas.

As diferentes doses de fertilização azotada não afetaram significativamente a produção de tomate, observações que estão de acordo com os resultados de Benard et al. (2009), Marouelli et al. (2014) e Michałojć et al. (2015).

#### 4.2.8. Parâmetros de qualidade do fruto

Os valores de TSS obtidos neste ensaio estão entre 4,55 e 5 °Brix, sendo que estão entre os valores normais de 4,5 e 5,5 °Brix (Calvo et al., 2008). O tratamento Myc N50 obteve os valores mais elevados, com resultados diferentes significativamente. Os resultados mais baixos foram obtidos no tratamento N0, existindo diferenças significativas com os outros tratamentos, exceto para N100 (Figura 27).

O teor em sólidos solúveis obteve resultados superiores nas plantas com micorrizas, tal como foi observado por Subramanian et al. (2006) e Michałojć et al. (2015). Blanco & Folegatti (2008) referem que o aumento da dose de fertilização azotada, não interfere na qualidade do fruto, nomeadamente no TSS e acidez.

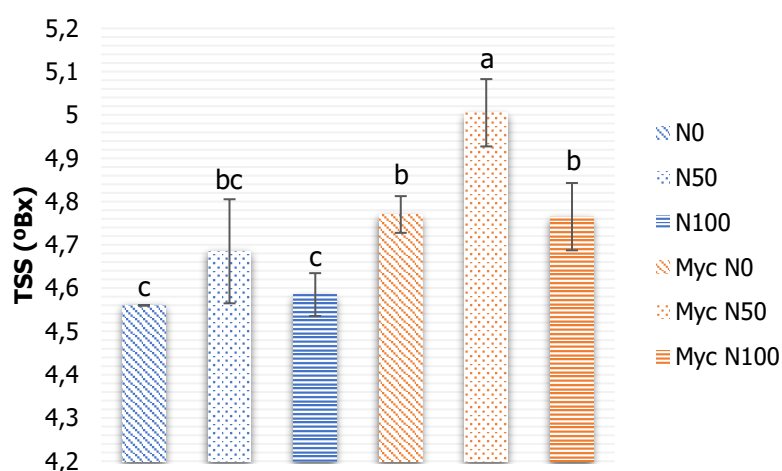


Figura 25 - Valores obtidos de teor em sólidos solúveis (TSS). Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

Em relação à cor do fruto, as plantas micorrizadas apresentaram valores inferiores em comparação com as plantas não micorrizadas. A dose de fertilização azotada afetou positivamente a cor dos frutos.

Neste ensaio, os valores obtidos estão próximos dos normais referidos por Calvo et al. (2008), de 2,2 e 2,5, o que pode ser justificado por um estado de maturação mais precoce, na altura da colheita (Figura 28).

As plantas com micorrizas apresentam valores de coloração inferiores, que pode significar que estes fungos provocam um atraso na maturação dos frutos.

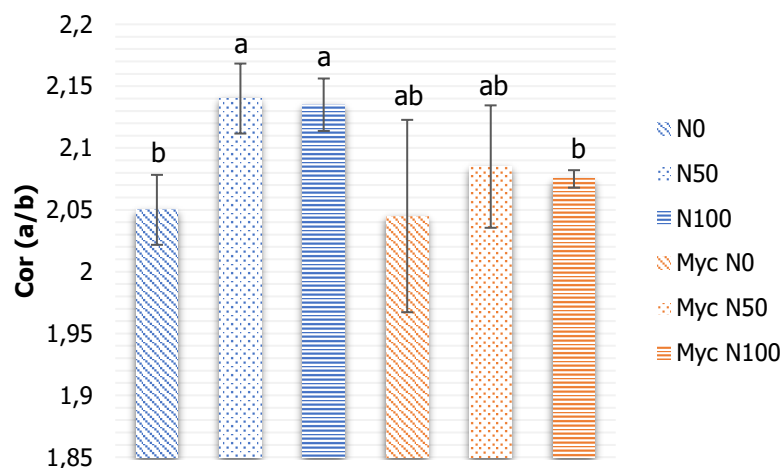


Figura 26 - Valores obtidos no parâmetro de cor (a/b). Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

No teor de licopeno, ocorreram diferenças significativas entre todas as modalidades com micorrizas, mostrando que com a fertilização azotada aumentou a quantidade de licopeno. Apenas na fertilização de 100%, as modalidades apresentaram diferenças significativas (Figura 29). Contrariamente ao referido por Bona et al. (2018), o teor em licopenos não diminuiu nas plantas micorrizadas. Ulrichs et al. (2008) observaram que plantas de tomateiro inoculadas com micorrizas obtiveram valores superiores no teor de licopenos no fruto. As temperaturas elevadas observadas acima dos 30°C (Figura 6), no final do ciclo da cultura contribuem negativamente para a formação do licopeno.

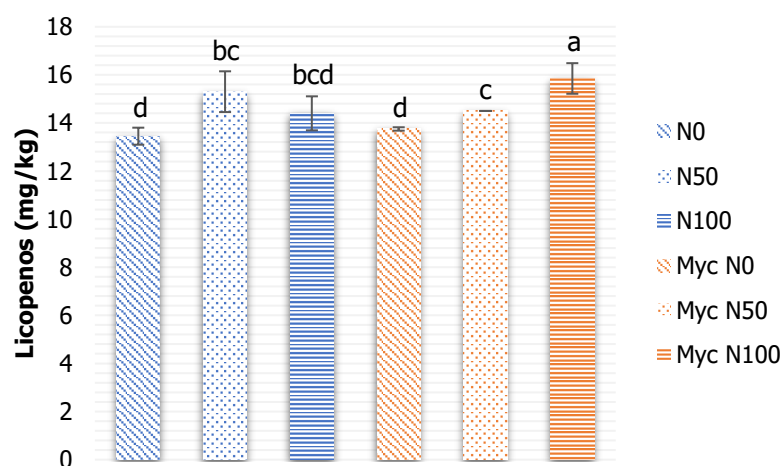


Figura 27 - Valores obtidos de teor em licopenos (mg/g). Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).



Em relação ao pH (Figura 30), os resultados obtidos foram de 4,1 e 4,25 e estão dentro dos valores aceitáveis para o tomate de indústria de 4,2 e 4,4 (Calvo et al., 2008). A fertilização azotada não influenciou o pH, pois as médias são significativamente iguais, tal como observado por Carvalho (2017).

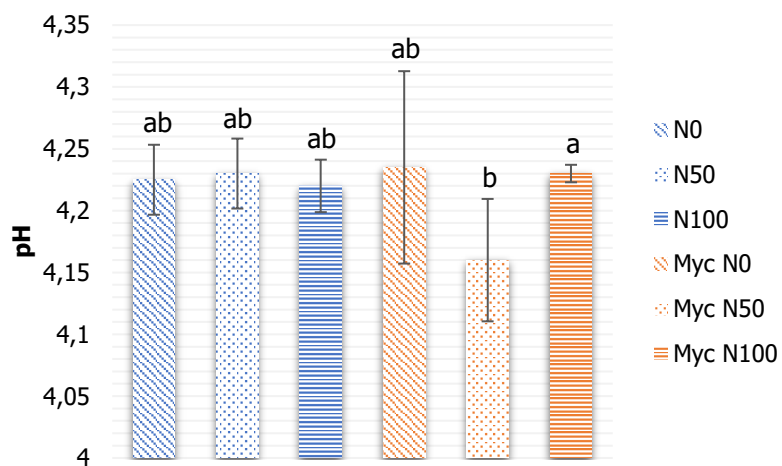


Figura 28 - Valores obtidos no parâmetro pH. Os valores representam médias  $\pm$  desvio padrão  $n=3$ . As modalidades assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ( $\alpha=0,05$ ).

## 5. CONCLUSÕES

No ensaio de fertilização azotada, verificou-se que a dose de azoto aplicada ao solo afetou a concentração de azoto mineral no solo e o teor de azoto em folhas do tomateiro. A concentração de azoto total no solo, o teor de azoto no fruto e o número de frutos por planta não foram significativamente afetados pela dose de azoto aplicada. Em relação aos parâmetros de qualidade do fruto, a fertilização azotada não teve grande impacto no pH, teor em sólidos solúveis, cor e teor em licopenos.

A maior exportação de azoto e a maior produção foi obtida no tratamento com a maior dose de fertilização, mas apesar disso, não foi significativamente diferente dos outros tratamentos.

Como não ocorreram diferenças significativas no rendimento do tomate, é admissível admitir a possibilidade de reduzir ou até mesmo suprimir, a fertilização azotada aplicada na pré-plantação, com o objetivo de aumentar a eficiência azotada. A disponibilidade inicial no solo, parece ser suficiente para o desenvolvimento inicial das plantas e a fertirrega realizada ao longo do ciclo é suficiente para suprimir as suas necessidades.

No ensaio de fertilização azotada com micorrizas, verificou-se que a utilização de micorrizas afetou a concentração de azoto mineral do solo e o teor de azoto em folhas, provocando uma diminuição. Para além disso, diminuiu o número de frutos por planta. Nos parâmetros de qualidade do fruto, as micorrizas promoveram um aumento do teor em sólidos solúveis.

Os fungos micorrízicos parecem aumentar a absorção de azoto quando a sua disponibilidade é mais baixa, como foi o caso da concentração de azoto nos frutos, na exportação e na produção, em que os tratamentos Myc N0 obtiveram valores superiores em comparação com as modalidades sem micorrizas, enquanto que a modalidade Myc N100 obteve resultados significativamente iguais a plantas sem micorrizas.

Os resultados apresentados neste trabalho dizem respeito a um ano de ensaios de campo e por esse motivo, as conclusões apresentadas não são de carácter definitivo.

Em trabalhos futuros, a percentagem de fertilização alterada deverá ser maior, para se conseguir observar melhores resultados e diferenças mais significativas. Em ensaios de micorrizas, devido à incerteza de resultados que existem em vários estudos, deveriam ser utilizadas diferentes doses de fertilização em diferentes tipos de solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, D. (2006). *Manual de culturas Hortícolas - Volume II* (2nd ed.). Lisboa: Editorial Presença.
- Asghari, H. R., & Cavagnaro, T. R. (2012). Arbuscular mycorrhizas reduce nitrogen loss via leaching. *PLOS ONE*, 7(1), 3–7.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029825>
- Azcón, R., Ruiz-Lozano, J. M., & Rodríguez, R. (2011). Differential contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to plant nitrate uptake under increasing N supply to the soil. *Canadian Journal of Botany*, (February). <https://doi.org/10.1139/cjb-79-10-1175>
- Barber, N., Kiers, E., Theis, N., Hazzard, R., & Adler, L. (2013). Linking agricultural practices , mycorrhizal fungi , and traits mediating plant – insect interactions. *Ecological Applications*, 23 (7), 1519–1530.
- Barrett, G, Campbell, C. D., Fitter, A. H., & Hodge, A. (2011). The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus hoi* can capture and transfer nitrogen from organic patches to its associated host plant at low temperature. *Applied Soil Ecology*, 48(1), 102–105. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.02.002>
- Barrett, Gracie, Campbell, C. D., & Hodge, A. (2014). Soil Biology & Biochemistry The direct response of the external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi to temperature and the implications for nutrient transfer. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.025>
- Benard, C., Gautier, H., Bourgaud, F., Grasselly, D., Navez, B., Caris-Veyrat, C., ... Genard, M. (2009). Effects of Low Nitrogen Supply on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruit Yield and Quality with Special Emphasis on Sugars, Acids, Ascorbate, Carotenoids and Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4112–4123. <https://doi.org/10.1021/jf8036374>
- Bender, S. F., Conen, F., & Heijden, M. G. A. Van Der. (2015). Mycorrhizal effects on nutrient cycling , nutrient leaching and N<sub>2</sub>O production in experimental grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, 283–292.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.016>

- Blanco, F. F., & Folegatti, M. V. (2008). Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: III. Produção e qualidade de frutos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, (86), 122–127.
- Boldt, K., Pörs, Y., Haupt, B., Bitterlich, M., Kühn, C., Grimm, B., & Franken, P. (2011). Photochemical processes , carbon assimilation and RNA accumulation of sucrose transporter genes in tomato arbuscular mycorrhiza. *Journal of Plant Physiology*, 168(11), 1256–1263. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.01.026>
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., ... Berta, G. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield , quality and nutritional value of tomato : a field study. *Mycorrhiza*. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0727-y>
- Bona, E., Todeschini, V., Cantamessa, S., Cesaro, P., Copetta, A., Lingua, G., ... Massa, N. (2018). Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. *Scientia Horticulturae*, 234(November 2017), 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.026>
- Bowles, T. M., Barrios-masias, F. H., Carlisle, E. A., Cavagnaro, T. R., & Jackson, L. E. (2016). Science of the Total Environment Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield , nutrient uptake , water relations , and soil carbon dynamics under de fi cit irrigation in fi eld conditions. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.178>
- Bücking, H., & Kafle, A. (2015). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Nitrogen Uptake of Plants: Current Knowledge and Research Gaps. *Agronomy*, 5(4), 587–612. <https://doi.org/10.3390/agronomy5040587>
- Butterback-Bahl, Klaus; Gundersen, P. (2011). Nitrogen processes in terrestrial ecosystems. *The European Nitrogen Assessment*, (6), 1–27. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988>
- Calvo, A. C., Carreras, R., & Ramos, C. G. (2008). *Parámetros de calidad en el tomate para industria*. 157–170.
- Cameira, M., & Mota, M. (2017). Nitrogen Related Diffuse Pollution from Horticulture Production—Mitigation Practices and Assessment Strategies. *Horticulturae*, 3(1), 25. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010025>
- Carvalho, M., Brito, I., & Goss, M. J. (2017). *Functional Diversity of Mycorrhiza and Sustainable Agriculture*. Academic Press.

- Carvalho, M. R. P. (2017) – *Efeito do regime hídrico e da fertilização azotada no rendimento e qualidade da cultura do tomate*. Dissertação de mestrado Agroecologia, Instituto Politécnico de Bragança, à Escola Superior Agrária de Bragança, pp. 87.
- Chapman, H.D., Pratt, R.F. (1961) *Methods of analysis for soils, plants and waters. Plant and Water Div Agric. Sci*, University of California., USA.
- Cavagnaro, T. R., & Martin, A. W. (2011). Arbuscular mycorrhizas in southeastern Australian processing tomato farm soils. *Plant Soil*, 327–336.  
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0603-z>
- Corkidi, L., Merhaut, D. J., Allen, E. B., Downer, J., Bohn, J., & Evans, M. (2011). Effects of Mycorrhizal Colonization on Nitrogen and Phosphorus Leaching from Nursery Containers. *HORTSCIENCE*, 46(11), 1472–1479.
- Corkidi, L., Rowland, D. L., Johnson, N. C., & Allen, E. B. (2002). Nitrogen fertilization alters the functioning of arbuscular mycorrhizas at two semiarid grasslands. *Plant and Soil*, 299–310.
- Corrêa, A., Cruz, C., & Ferrol, N. (2015). Nitrogen and carbon / nitrogen dynamics in arbuscular mycorrhiza : the great unknown. *Mycorrhiza*, 499–515.  
<https://doi.org/10.1007/s00572-015-0627-6>
- Costa, K. A. de P., Faquin, V., Oliveira, I. P. de, Rodrigues, C., & Severiano, E. da C. (2008). Doses e fontes de Nitrogênio em pastagem de Capim-marandu. I - Alterações nas características químicas do solo. *Revista Brasileira Ci. Solo*, (1), 1591–1599.
- Elia, A., & Conversa, G. (2012). Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. *European Journal of Agronomy*, 40, 64–74.  
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.02.001>
- Erdal, I., Ertek, A., Senyigit, U., & Yilmaz, H. I. (2006). Effects of different irrigation programs and nitrogen levels on nitrogen concentration , uptake and utilisation in processing tomatoes ( *Lycopersicum esculentum* ). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46, 1653–1660.
- Erisman, J. (2011). The European nitrogen problem in a global perspective. *The European Nitrogen Assessment*, 9–31.  
<https://doi.org/10.1017/cbo9780511976988.005>

- Erisman, J., Galloway, J., Seitzinger, S., Bleeker, A., Dise, N., Petrescu, A. M., ... Vries, W. (2013). Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. *Phil Trans R Soc B*.
- Erisman, J., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z., & Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1, 636–639.
- EUROSTAT (2019), European Statistics database-online (Consultado a 10/11/2019, disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>)
- FAOSTAT (2017), FAO Statistics database-online (Consultado a 10/11/2019, disponível em: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>)
- Farneselli, M., Benincasa, P., Tosti, G., Simonne, E., Guiducci, M., & Tei, F. (2015). High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply. *Agricultural Water Management*, 154, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.002>
- Ferreira, M., Ferreira, G., & Fontes, P. (2010). Eficiência da adubação nitrogenada do tomateiro em duas épocas de cultivo. *Rev. Ceres*, 57, 263–273.
- Ferreira, M. M. M., Ferreira, G. B., Fontes, P. C. R., & Dantas, J. P. (2003). Influência das adubações nitrogenada e orgânica no tomateiro sobre os teores de N-NO<sub>3</sub> e N-NH<sub>4</sub> no perfil do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7, 233–239.
- Fowler, D., Steadman, C. E., Stevenson, D., Coyle, M., Rees, R. M., Skiba, U. M., ... Galloway, J. N. (2015). Effects of global change during the 21st century on the nitrogen cycle. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(24), 13849–13893. <https://doi.org/10.5194/acp-15-13849-2015>
- Fowler, David, Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M. A., Cape, J. N., Reis, S., ... Fowler, D. (2013). The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Phil Trans R Soc B*.
- Galloway, J., Winiwarter, W., Leip, A., Leach, A., Bleeker, A., & Erisman, J. (2014). Nitrogen footprints: Past, present and future. *Environmental Research Letters*, 9(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/115003>
- Gargantini, H., & Blanco, H. G. (1963). Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro. *Bragantia*, 22, 663–714.

- Geisseler, D., Aegerter, B. J., Miyao, E. M., Turini, T., & Cahn, M. D. (2019). Nitrogen in soil and subsurface drip-irrigated processing tomato plants ( *Solanum lycopersicum* L .) as affected by fertilization level. *Scientia Horticulturae*, (3), 108999. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108999>
- Giuffrida, F., Cassaniti, C., Scuderi, D., Caturano, E., & Leonardi, C. (2012). Tomato Yield , Nitrogen Uptake and Use Efficiency in Relation to Nitrogen Fertilization Levels. *Acta Horticulturae*, 149–154.
- Goulding, K. (2000). Nitrate leaching from arable and horticultural land. *Soil Use and Management*, 16, 145–151.
- Goulding, K., Jarvis, S., & Whitmore, A. (2008). Optimizing nutrient management for farm systems. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 667–680. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2177>
- Hartz, T. K., & Bottoms, T. G. (2009). Nitrogen Requirements of Drip- irrigated Processing Tomatoes. *HORTSCIENCE*, 44(7), 1988–1993.
- Hartz, T., Miyao, G., Mickler, J., Lestrage, M., Stoddard, S., Nuñez, J., & Aegerter, B. (2008). Processing tomato production in California. *University of California*, 7228.
- Herman, D. J., Firestone, M. K., Nuccio, E., & Hodge, A. (2012). Interactions between an arbuscular mycorrhizal fungus and a soil microbial community mediating litter decomposition. *FEMS Microbiol Eco*, 80, 236–247. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01292.x>
- Hodge, A., Campbell, C. D., & Fitter, A. H. (2001). An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, (October), 297–299. <https://doi.org/10.1038/35095041>
- Hodge, A., & Fitter, A. H. (2010). Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *PNAS*, 107 (31), 13754–13759.
- INIAP. (2006). *Manual de fertilização das culturas*. Lisboa: Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva.
- INE (2019), Estatísticas Agrícolas 2018 (Consultado a 10/11/2019, disponível em: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOEspub\\_boui=358629204&PUBLICACOESTema=55505&PUBLICACOESmodo=2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOEspub_boui=358629204&PUBLICACOESTema=55505&PUBLICACOESmodo=2))

- Jacott, C. N., Murray, J. D., Ridout, C. J., (2017), Trade-Offs in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Disease Resistance, Growth Responses and Perspectives for Crop Breeding. *Agronomy* 7(4), 75; <https://doi.org/10.3390/agronomy7040075>
- Jarvis, S. (2011). Nitrogen flows in farming systems across Europe. *The European Nitrogen Assessment*, 211–228.
- Jensen, M. M., & Ward, B. B. (2014). The microbial nitrogen cycle. *Frontiers in Microbiology*, 5(October), 2–3. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00553>
- Jin, H., Pfeffer, P. E., Douds, D. D., Shachar-Hill, Y., Piotrowski, E., & Lammers, P. J. (2002). The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 168, 687–696.
- Leach, A. M., Galloway, J. N., Bleeker, A., Willem, J., Kohn, R., & Kitzes, J. (2012). A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environmental Development*, 1(1), 40–66. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2011.12.005>
- Leigh, J., Hodge, A., & Fitter, A. H. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytologist*, 199–207.
- Marouelli, W. A., Souza, R. B., & Braga, M. B. (2014). Evaluation of sources, doses and application schedules of nitrogen on drip-irrigated tomato. *Horticultura Brasileira*, 32, 327–335.
- Michałowicz, Z., Jarosz, Z., Pitura, K., Dzida, K. (2015) Effect of mycorrhizal colonization and nutrient solutions concentration on the yielding and chemical composition of tomato grown in rockwool and straw medium. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus*, 14:15–27
- Miransari, M. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. *Archives of Microbiology*, 193 (2), 77–81. <https://doi.org/10.1007/s00203-010-0657-6>
- Naika, S., Jeude, J. van L. de, Goffau, M. de, Hilmi, M., & Dam, B. van. (2005). *Cultivation of tomato: production, processing and marketing*. Agromisa Foundation and CTA.
- Neta, M. N. A., Mota, W. F., Pegoraro, R. F., Pacheco, M. C., Batista, C. M., & Soares, M. D. C. (2019). Agronomic yield and quality of industrial tomatoes under NPK doses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 59–64.



- Nextera (2019), Catálogo 2019 (Consultado a 12/11/2019, disponível em:  
<https://www.nextera-agri.pt/catalogo-2019/> )
- OECD (2019), Nutrient balance (indicator) (Consultado a 12/11/2019, disponível em:  
<https://data.oecd.org/agrland/nutrient-balance.htm>)
- Parisi, M., Giordano, I., Pentangelo, A., & Onofrio, B. D. (2006). Effects of Different Levels of Nitrogen Fertilization on Yield and Fruit Quality in Processing Tomato. *Acta Horticulturae*, 129–132.
- Pegada do Azoto Portugal (2016), O azoto (Consultado a 7/11/2019, disponível em:  
<http://www.pegadadoazoto.pt/apartirdos18.html>)
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e métodos de Rega*. Mem Martins: Publicações Europa-América.
- Reynolds, H. L., Hartley, A. E., Vogelsang, K. M., Bever, J. D., Schultz, P. A., & Reynolds, H. L. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi do not enhance nitrogen acquisition and growth of old-field perennials under low nitrogen supply in glasshouse culture. *New Phytologist*, 167(3), 869–880.
- Ribeiro, H., Vasconcelos, E. (2015). *Algumas considerações sobre a qualidade de uma água para rega*. Texto de apoio às aulas práticas da UC Fertilizantes e Técnicas de Fertilização, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa
- Rodrigues, M. Â., & Coutinho, J. F. (2000). *Eficiência de utilização do azoto pelas plantas*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- Santos, V. S. "Ciclo do Nitrogênio"; *Brasil Escola*. (Consultado a 5/07/2020, disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/ciclo-nitrogenio.htm>)
- Shi, J., Mittal, G., Kim, E., & Xue, S. J. (2007). Solubility of Carotenoids in Supercritical Solubility of Carotenoids in Supercritical CO<sub>2</sub>. *Food Reviews International*, 23(4), 337–341. <https://doi.org/10.1080/87559120701593806>
- Smith, S. E., Jakobsen, I., Grønlund, M., & Smith, F. A. (2011). Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition : Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition 1. *Plant Physiology*, 156(July), 1050–1057. <https://doi.org/10.1104/pp.111.174581>

- Smith, S. E., & Smith, F. A. (2011). Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth : New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review Of Plant Biology*, 62, 227–250. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103846>
- Smith, S. E., & Smith, F. A. (2012). Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia*, 104(1)(January), 1–13. <https://doi.org/10.3852/11-229>
- Soto, F., Gallardo, M., Thompson, R. B., Peña-fleitas, M. T., & Padilla, F. M. (2015). Agriculture , Ecosystems and Environment Consideration of total available N supply reduces N fertilizer requirement and potential for nitrate leaching loss in tomato production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200(3), 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.022>
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Crop yield response to water. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 66.
- Subramanian, K. S., Santhanakrishnan, P., & Balasubramanian, P. (2006). Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia Horticulturae*, 107, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.07.006>
- Tanaka, Y., & Yano, K. (2005). Nitrogen delivery to maize via mycorrhizal hyphae depends on the form of N supplied. *Plant, Cell and Environment*, 1247–1254.
- Tei, F., Benincasa, P., Farneselli, M., Tosti, G., & Guiducci, M. (2015). Environmentally sustainable processing tomato nitrogen nutrition management in. *Acta Horticulturae*, 1081, 41–48.
- Tei, F., Benincasa, P., & Guiducci, M. (2002). Critical nitrogen concentration in processing tomato. *European Journal of Agronomy*, 18, 45–55.
- Thirkell, T. J., Cameron, D. D., & Hodge, A. (2016). Resolving the ‘nitrogen paradox’ of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. *Plant Cell and Environment*, 39(8), 1683–1690. <https://doi.org/10.1111/pce.12667>
- Torelli, A., Trotta, A., Acerbi, L., Arcidiacono, G., Berta, G., Branca, C., & Parma, I.-. (2000). IAA and ZR content in leek (*Allium porrum* L.), as influenced by P nutrition and arbuscular mycorrhizae, in relation to plant development. *Plant and Soil*, 226, 29–35.

- Ulrichs, C., Fischer, G., Büttner, C., & Mewis, I. (2008). Comparison of lycopene ,  $\beta$  - carotene and phenolic content of tomato using conventional and ecological horticultural practices , and arbuscular mycorrhizal fungi ( AMF ) Comparison of lycopene ,  $\beta$  -carotene and phenolic contents of tomato using conventiona. *Agronomia Colombiana*, (April).
- Varennnes, A., & Goss, M. J. (2007). The tripartite symbiosis between legumes, rhizobia and indigenous mycorrhizal fungi is more efficient in undisturbed soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(10), 2603–2607.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.007>
- Verzeaux, J., Hirel, B., Dubois, F., Lea, P. J., & Tétu, T. (2017). Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: Basic and agronomic aspects. *Plant Science*, 264(October 2016), 48–56.  
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.08.004>
- Warner, J., Zhang, T. Q., & Hao, X. (2004). Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science*, 865–871.
- Wright, D. P., Read, D. J., & Scholes, J. D. (1998). Mycorrhizal sink strength influences whole plant carbon balance of *Trifolium repens* L . *Plant, Cell and Environment*, 21, 881–891.

# **ANEXOS**

## Anexo I - Embalagem de micorrizas utilizada no ensaio B



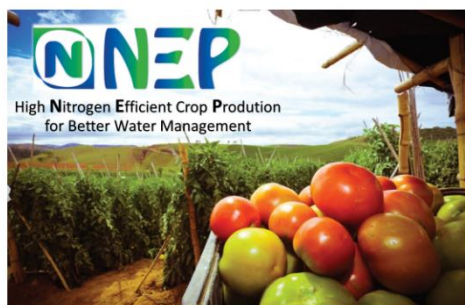
Anexo II - Lista de produtos utilizados em tratamentos fitossanitários na Parcela A

<b>Data de aplicação</b>	<b>Tipo produto</b>	<b>Nome comercial</b>	<b>Substância ativa</b>	<b>Dose</b>
23 maio 31 maio	Herbicida	Titus	Rinsulfurão (25%)	0.05 kg/ha 0.05 kg/ha
23 maio 31 maio	Herbicida	Targa gold	Quizalope-P-etilo (5,2%)	1 L/ha 1 L/ha
23 maio 31 maio	Herbicida	Sencor Liquid	Metribuzina (52,17%)	0.3 L/ha 0.3 L/ha
12 junho	Fungicida	Vitra 40 Micro	Hidróxido de cobre (30%)	4.066 kg/ha
12 junho	Inseticida	Movento-O-Tec	Espirotetramato (15,3%)	12.86 kg/ha
21 junho	Fungicida	Melody	Folpete (56,3%) + Iprovalicarbe (9%)	1.396 L/ha
23 junho 1 julho	Fungicida	Bago de Ouro	Enxofre (98,5%)	12.86 kg/ha 12.86 kg/ha
2 julho	Fungicida	Milgold Pro	Cimoxanil (30%) + Famoxadona (22,5%)	0.42 L/ha
23 julho 31 julho	Fungicida	Calda Bordalessa	Sulfato de Cobre e Cálcio (20%)	3.3 kg/ha 3.3 kg/ha
2 julho 24 julho 5 agosto	Inseticida	CAL-EX EVO	Abamectina (1,8%)	1 L/ha 1 L/ha 1 L/ha

Anexo III - Lista de produtos utilizados em tratamentos fitossanitários na Parcela B

<b>Data de aplicação</b>	<b>Tipo produto</b>	<b>Nome comercial</b>	<b>Substância ativa</b>	<b>Dose</b>
6 junho	Herbicida	Sencor Liquid	Metribuzina (52,17%)	0.3 L/ha
6 junho	Herbicida	Titus	Rinsulfurão (25%)	0.05 kg/ha
26 junho	Fungicida	Melody	Folpete (56,3%) + Iprovalicarbe (9%)	1.396 L/ha
26 junho 20 julho	Inseticida	Coragen	Clorantpriliprol (18,4%)	0.2 L/ha 0.2 L/ha
20 julho	Fungicida	Migold Pro	Cimoxanil (30%) + Famoxadona (22,5%)	0.42 L/ha

## Anexo IV – Apresentação dos resultados iniciais do projeto NEP na reunião científica “Open Day Tomate-Indústria CCTI”. Evento decorreu no Cartaxo no dia 26 de Novembro de 2018.



Grupo Operacional PDR2020



Cláudia Mds Cordovil (ISA)  
João Santos Silva (CCTI)  
Soraia Cruz (ISA)  
Inês Pereira (ISA)

### NEP - high Nitrogen Efficient crop Production for better water management

GRUPO OPERACIONAL PDR-2020

DATA INICIO: 02/11/2017

DATA FIM: 31/12/2020

DURAÇÃO PROJECTO: 3 anos

#### LIDER:

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

#### PARCEIROS TOMATE INDÚSTRIA:

CCTI

VA  
Sociedade  
Agro-Pecuária do  
Vale de Adaga

benagro

#### OBJECTIVOS PRINCIPAIS:

- Desenvolvimento de novos produtos de tomate com baixa pegada de azoto
- Definir o ponto óptimo de produção do tomate
- Desenvolver novos métodos/práticas agrícolas (fertilização, irrigação)
- Promover a eficiência de N (ex. reduzir perdas por lixiviação)
- Testar tecnologias e inovações (ex. micorrizas, sondas)
- Determinação da pegada de N agrícola
- Ensaios campo/estufa, análises químicas, etc

↓ Fertilização N  
↓ Custo de conta da cultura  
↔ Produtividade



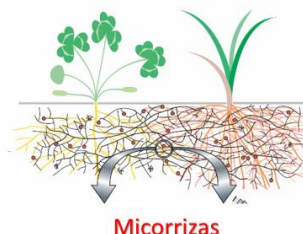
### ENSAIOS DE CAMPO - Fertilização e Irrigação

**TESTES EXPERIMENTAIS:** Alteração nas práticas agrícolas convencionais no que diz respeito à fertilização azotada: 4 doses de fertilização N em 2 tipos de solo (arenoso, argiloso), ambos com = rega



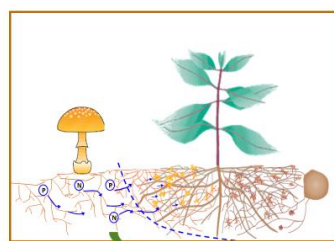
Instalação de sondas que medem directamente o teor de nitratos lixiviados em profundidade no solo

### ENSAIOS DE ESTUFA - Fertilização e Micorrizas



**Micorrizas:**  
Associações simbióticas entre as raízes das plantas e fungos benéficos do solo

### ENSAIOS DE ESTUFA - Fertilização e Micorrizas



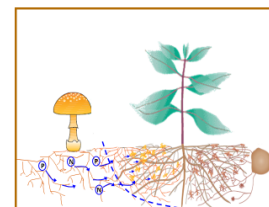
O fungo transfere nutrientes (ex. N, P) e água para a planta que em troca transfere para o fungo açúcares produzidos na fotossíntese

As hifas do fungo estendem-se no solo e conseguem captar água e nutrientes onde as raízes não conseguem chegar

### ENSAIOS DE ESTUFA - Fertilização e Micorrizas

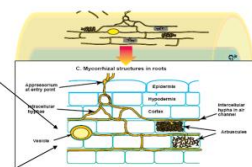
#### Benefícios das Micorrizas para as plantas:

- Aumento do crescimento - melhoramento do estado nutricional
- Aumento da estabilidade e qualidade do solo – menos erosões
- Aumento da resistência a stress ambiental (ex. seca, calor extremo)
- Aumento da resistência a doenças



### ENSAIOS DE ESTUFA - Fertilização e Micorrizas

#### Desenvolvimento de um protocolo de Micorrização para plantas de tomateiro em estufa



O fungo entra para dentro das células da raiz onde transfere os nutrientes captados no solo

**Resultado:** o inóculo micorrízico foi altamente eficaz no estabelecimento de simbiose com as raízes de tomateiro

### ENSAIO DE ESTUFA - Fertilização e Micorrizas

#### DELINEAMENTO ENSAIO

Duração ensaio: ~ 60 dias  
(Agosto – Setembro 2018)

**OBJECTIVO:** Testar o efeito das micorrizas (em diferentes doses de fertilizante N) enquanto potencial tecnologia para aumentar a eficiência da absorção de N pelas plantas de tomate para indústria

#### TRATAMENTOS (com/sem micorrizas): 2

Tratamento 1: Plantas + Micorrizas  
Tratamento 2: Plantas

#### MODALIDADES (4 doses de fertilização N): 4

A: 100% = 600 kg N/ha  
B: 67% = 400 kg N/ha  
C: 33% = 200 kg N/ha  
E: 0% = 0 kg N/ha

TOTAL VASOS = (6 repetições x 4 mod) x 2 trat = 48

REGA: 2x/dia, mantida 70% da capacidade de retenção da água

VARIETADE Tomate Indústria: H1015

FERTILIZAÇÃO: Modo aplicação - adubação de fundo; Tipo fertilizante - solução nutritiva NPK (13-11-21)



## ENSAIO DE ESTUFA - Fertilização e Micorrizas



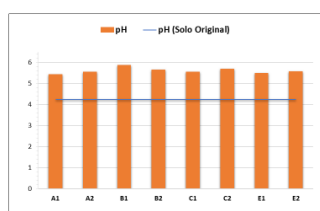
## ENSAIO DE ESTUFA - FERTILIZAÇÃO E MICORRIZAS



## ENSAIO DE ESTUFA - FERTILIZAÇÃO E MICORRIZAS

### RESULTADOS PRELIMINARES

SOLO  
pH



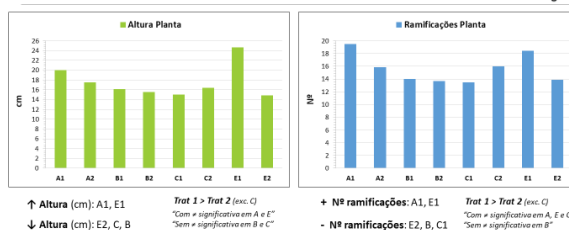
Solo original (testemunha) e outras modalidades: pH ácido  
» Faixa de pH favorável à produção de tomate indústria  
» Sem diferenças significativas

Caracterização completa solo original e água de rega  
Análise química N (total, nítrico, amoniacal)

## ENSAIO DE ESTUFA - FERTILIZAÇÃO E MICORRIZAS

### RESULTADOS PRELIMINARES

PLANTA  
Morfologia



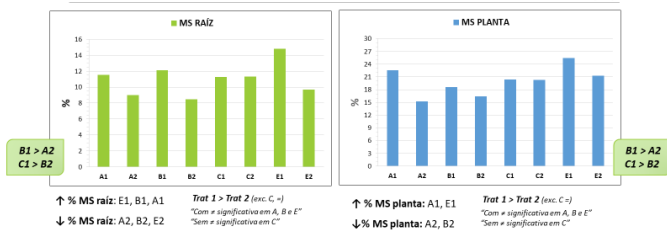
↑ Altura (cm): A1, E1  
↓ Altura (cm): E2, C, B  
Trat 1 > Trat 2 (exc. C)  
"Com + significativa em A, E e E"  
"Sem + significativa em B e C"

Aparentemente, as micorrizas promoveram o crescimento e desenvolvimento das plantas.

## ENSAIO DE ESTUFA - FERTILIZAÇÃO E MICORRIZAS

### RESULTADOS PRELIMINARES

PLANTA e RAÍZ  
Matéria Seca (MS)



↑ % MS raiz: E1, B1, A1  
↓ % MS raiz: A2, B2, E2  
Trat 1 > Trat 2 (exc. C-)  
"Com + significativa em A, B e E"  
"Sem + significativa em C"

↑ % MS planta: A1, E1  
↓ % MS planta: A2, B2  
Trat 1 > Trat 2 (exc. C-)  
"Com + significativa em A, B e E"  
"Sem + significativa em C"

As micorrizas parecem ser + eficientes do que doses de N mais ↑

Análise química N (total, nítrico, amoniacal)  
Exportação de N (N uptake by plants)



Vase final de uma planta do Tratamento 1 (com micorrizas)

## ENSAIO DE ESTUFA - FERTILIZAÇÃO E MICORRIZAS

### CONCLUSÕES PRELIMINARES

As micorrizas promovem o crescimento e desenvolvimento das raízes e das plantas do tomate indústria independentemente da dose de fertilizante N aplicada (A1, E1, B1, C1, E1 > A2, B2, C2, E2)

O Tratamento 1 (com micorrizas) apresentou melhores resultados que Tratamento 2 (sem micorrizas)

A micorrização pode ser uma alternativa à utilização de doses elevadas de fertilizante N (B1 > A2, C1 > B2)

Plantas com doses < de fertilizante N com micorrizas crescem tanto ou mais do que plantas com doses > de fertilizante N sem micorrizas



Obrigado pela vossa atenção!

Sugestões são bem-vindas.

Cláudia Cordovil – ISA (cms@isa.ulisboa.pt)

João Santos Silva – CCTI (jsilva@ccti.pt)


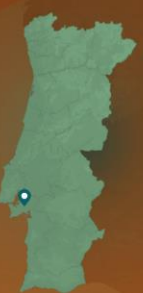
Soraia Cruz – ISA (scruz@isa.ulisboa.pt)

Inês Pereira – ISA (inespereira123@hotmail.com)


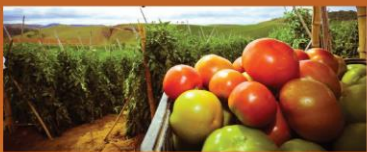





Anexo V - Poster do projeto NEP apresentado na reunião científica “AGRO-Inovação 2019”. Evento decorreu no Cartaxo no dia 2 de Julho de 2019.

**HORTICULTURA**

Com Apoio:

Início: Novembro 2017  
Fim: Dezembro 2020

Orçamento: 396.739 €



## Grupo Operacional:

NEP “high Nitrogen Efficient crop Production for better water management”



## Parceiros

Tipo:

Nome:

Universidade

Instituto Superior de Agronomia (ISA)

Associação

Centro de Competências para o Tomate Indústria (CCTI)

Organização de Produtores

Benagro - Cooperativa Agrícola de Benavente, CRL

Empresa (PME)

Fundação Eugénio de Almeida (FEA)

Sociedade AgroPecuária do Vale da Adegua, S.A.

Reguenguinho - Sociedade Agrícola, Lda.

Lusovini Distribuição, S.A.

## Projeto

Objetivos:

Promover uma maior eficiência no uso do azoto na cultura do tomate indústria, através da otimização da gestão da água e dos fatores de produção, com vista à mitigação das perdas de azoto e consequente proteção do ambiente.

Criar o primeiro concentrado de tomate produzido com baixa pegada de azoto.

Atividades desenvolvidas

Ensaio de campo experimentais e em estufa delineados com o objetivo de reduzir as doses de fertilização azotada aplicadas convencionalmente na cultura do tomate indústria. Teste de algumas inovações agrícolas como as micorrizas, que permitem aumentar a eficiência de absorção de N pelas plantas de tomate, e as sondas de medição de nitratos lixiviados em profundidade no solo, que permitem avaliar as perdas de N.

Resultados

Realizaram-se os estudos conducentes ao isolamento de estirpes de fungos micorrízicos com bons resultados em plantas de tomate.

Estabilização de protocolo de micorrização em viveiro.

Teste das sondas de nitratos capazes de quantificar as perdas de azoto por lixiviação.

Identificação do ponto ótimo de produção do tomate indústria com a menor fertilização azotada possível e o menor custo de conta da cultura de forma a manter a produtividade total final do produtor.



Contactos:

Claudia MdS Cordovil ([cmc@isa.ulisboa.pt](mailto:cmc@isa.ulisboa.pt))

Soraia Cruz ([soraia@isa.ulisboa.pt](mailto:soraia@isa.ulisboa.pt))

Inês Pereira ([inespereira123@hotmail.com](mailto:inespereira123@hotmail.com))



WORKSHOPS REGIONAIS DE INOVAÇÃO NA AGRICULTURA

Organização: RRN | Rede Rural Nacional em colaboração com:

CCTI | Centro de Competência Tomate-Indústria

COTHN | Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional



## Changes in nitrogen agricultural practices to increase farm sustainability – tomato production

Cruz, S.<sup>1</sup>, Pereira, I.<sup>1</sup>, Ribeiro, C.<sup>1</sup>, Silva, J.S.<sup>2</sup>, Ribeiro, T.<sup>3</sup>, Pinho, P.<sup>4</sup>, Cordovil, C.M.d.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LEAF, Agronomy Institute (ISA), University of Lisbon, Lisbon, Portugal

<sup>2</sup> Centro de Competências para o Tomate Indústria, Cartaxo, Portugal

<sup>3</sup> Benagro - Cooperativa Agrícola de Benavente, Benavente, Portugal

<sup>4</sup> Sociedade AgroPecuária do Vale da Adega, S.A., Azambuja, Portugal

E-mail: [scruz@isa.ulisboa.pt](mailto:scruz@isa.ulisboa.pt)

### Abstract

Nutrients, namely nitrogen, are essential to crop growth. Efficient nitrogen fertilization was tested in processing tomato plants with and without mycorrhizae, in the field. Mycorrhizae presents an alternative for the use of higher doses of N fertilizer inputs, because this crop is highly demanding on nitrogen fertilization and thus with great potential for heavy nitrogen losses. The objective was to produce a new marketable tomato of low nitrogen-footprint, to do processed products.

Keywords: mycorrhizae, nitrogen-footprint, processing tomato

### 1. Introduction

The efficient use of nitrogen (N) has been pointed out as a good solution to improve soil, water and air quality while avoiding increased costs to the farmers. Tomato is one of the most important crops worldwide and requires high amounts of nitrogen inputs to achieve high yields. The need for new agricultural technologies to reduce nitrogen inputs urges. Mycorrhizae are symbiotic associations between plant roots and soil fungi, able to increase crop growth through the improvement of plant's nutritional status. To find the best agriculture practices and technology measures, this work focused on developing low nitrogen footprint production systems for processing tomato.

### 2. Methodology

New agricultural practices, which include nitrogen fertilisation and mycorrhizae, were tested to increase N use efficiency and decrease the industry tomato N-footprint. Different doses of N inputs were tested on the same tomato variety, with and without mycorrhizae (Fig. 1). A mycorrhization protocol was designed and validated for tomato plants.



Fig. 1: Crop plantation and monitoring.

At harvest, tomatoes from each treatment were collected, quantified and weighted to determine productivity (Fig. 2). Samples were analysed for quality identification and the corresponding N-Footprint calculated, a tool built during this project to confirm the efficiency of the new management procedures.



Fig. 2: Harvesting and end of field experiment.

### 3. Results

Mycorrhizae promoted the growth of the tomato plants and increased the N uptake independent of the N dose applied to the soil.

### 4. Conclusions

Mycorrhizae presented an alternative for the use of high doses of N fertilizer inputs. The optimum fertilization management for tomato production was correlated with quality, and tested by national production partners.

### Acknowledgements

NEP, Operational Group n. PDR2020-101-031453, FCT, UID/AGR/04129/2013 and NitroPortugal, H2020-TWINN-2015, a Coordination & support action n. 692331.

### References

- Bowles, T. M., Barrios-Masias, F.H., Carlisle, E.A., Cavagnaro, T. R., Jackson, L.E. 2016. Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, waterrelations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. *Science of the Total Environment*, 566-567, 1223-1234.
- Bona, E., Todeschini, V., Cantamessa, S., Cesaro, P., Copetta, A., Lingua, G., Gamalero, E., Berta, G., Massa, N. 2018. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. *Scientia Horticulturae* 234, 160-165.